



ИКАО

Международные стандарты  
и Рекомендуемая практика

# Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации

## Охрана окружающей среды

Том II. Эмиссия авиационных двигателей  
Издание четвертое, июль 2017 года



Настоящее издание заменяет, с 1 января 2018 года, все предыдущие издания тома II Приложения 16.

Сведения о применении Стандартов и Рекомендуемой практики  
содержатся в предисловии.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**





| ИКАО

Международные стандарты  
и Рекомендуемая практика

# Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации

## Охрана окружающей среды

Том II. Эмиссия авиационных двигателей

Издание четвертое, июль 2017 года

Настоящее издание заменяет, с 1 января 2018 года, все предыдущие издания тома II Приложения 16.

Сведения о применении Стандартов и Рекомендуемой практики  
содержатся в предисловии.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Опубликовано отдельными изданиями на русском, английском, арабском, испанском, китайском и французском языках  
МЕЖДУНАРОДНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ.  
999 Robert-Bourassa Boulevard, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7

Информация о порядке оформления заказов и полный список агентов по продаже и книготорговых фирм размещены на веб-сайте ИКАО [www.icao.int](http://www.icao.int).

*Издание первое, 1981.*

*Издание второе, 1993.*

*Издание третье, 2008.*

*Издание четвертое, 2017.*

**Приложение 16. Охрана окружающей среды**

**Том II. Эмиссия авиационных двигателей**

Номер заказа: AN16-2

ISBN 978-92-9258-318-7

© ИКАО, 2017

Все права защищены. Никакая часть данного издания не может воспроизводиться, храниться в системе поиска или передаваться ни в какой форме и никакими средствами без предварительного письменного разрешения Международной организации гражданской авиации.

## ПОПРАВКИ

Об издании поправок сообщается в дополнениях к *Каталогу продукции и услуг ИКАО*; Каталог и дополнения к нему имеются на веб-сайте ИКАО [www.icao.int](http://www.icao.int). Ниже приводится форма для регистрации поправок.

## РЕГИСТРАЦИЯ ПОПРАВОК И ИСПРАВЛЕНИЙ

[illegible][illegible]



# ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Страница</i>
Предисловие .....	(ix)
<b>Часть I. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ .....</b>	<b>I-1-1</b>
ГЛАВА 1. Определения .....	I-1-1
ГЛАВА 2. Условные обозначения.....	I-2-1
<b>Часть II. ВЫБРОС ТОПЛИВА.....</b>	<b>II-1-1</b>
ГЛАВА 1. Административные вопросы .....	II-1-1
ГЛАВА 2. Предотвращение намеренного выброса топлива.....	II-2-1
<b>Часть III. СЕРТИФИКАЦИЯ ПО ЭМИССИИ .....</b>	<b>III-1-1</b>
ГЛАВА 1. Административные вопросы .....	III-1-1
ГЛАВА 2. Турбореактивные и турбовентиляторные двигатели, предназначенные для обеспечения полетов только на дозвуковых скоростях.....	III-2-1
2.1 Общие положения.....	III-2-1
2.2 Дым.....	III-2-3
2.3 Эмиссия газообразных веществ.....	III-2-3
2.4 Требуемая информация.....	III-2-6
ГЛАВА 3. Турбореактивные и турбовентиляторные двигатели, предназначенные для обеспечения полетов на сверхзвуковых скоростях.....	III-3-1
3.1 Общие положения.....	III-3-1
3.2 Дым.....	III-3-3
3.3 Эмиссия газообразных веществ.....	III-3-3
3.4 Требуемая информация.....	III-3-4
ГЛАВА 4. Эмиссия твердых частиц.....	III-4-1
4.1 Общие положения.....	III-4-1
4.2 Эмиссия нелетучих твердых частиц.....	III-4-2
4.3 Требуемая информация.....	III-4-3

<b>ЧАСТЬ IV. ОЦЕНКА НЕЛЕТУЧИХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ЦЕЛЯХ СОСТАВЛЕНИЯ КАДАСТРА И МОДЕЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>IV-1-1</b>
---	---------------

## ДОБАВЛЕНИЯ

ДОБАВЛЕНИЕ 1. Измерение исходной степени повышения давления .....	ДОБ 1-1
1. Общие положения .....	ДОБ 1-1
2. Измерение .....	ДОБ 1-1
ДОБАВЛЕНИЕ 2. Оценка эмиссии дыма .....	ДОБ 2-1
1. Введение и определения .....	ДОБ 2-1
2. Измерение эмиссии дыма .....	ДОБ 2-1
3. Расчет числа дымности на основе данных измерения .....	ДОБ 2-6
4. Сообщение данных полномочному сертифицирующему органу .....	ДОБ 2-6
ДОБАВЛЕНИЕ 3. Приборы и методы измерения эмиссии газообразных веществ .....	ДОБ 3-1
1. Введение .....	ДОБ 3-1
2. Определения .....	ДОБ 3-1
3. Требуемые данные .....	ДОБ 3-2
4. Общая компоновка системы .....	ДОБ 3-3
5. Описание составных частей .....	ДОБ 3-3
6. Общая методика испытаний .....	ДОБ 3-6
7. Расчеты .....	ДОБ 3-8
Дополнение А к добавлению 3. Технические требования к анализатору НС .....	ДОБ 3-15
Дополнение В к добавлению 3. Технические требования к анализаторам СО И СО <sub>2</sub> .....	ДОБ 3-19
Дополнение С к добавлению 3. Технические требования к анализатору NOx .....	ДОБ 3-23
Дополнение D к добавлению 3. Тарировочные и испытательные газы .....	ДОБ 3-25
Дополнение Е к добавлению 3. Расчет параметров эмиссии: основные положения, внесение поправок в результаты измерения и альтернативный числовой метод .....	ДОБ 3-27
Дополнение F к добавлению 3. Требования в отношении дополнительных данных .....	ДОБ 3-33
ДОБАВЛЕНИЕ 4. Технические требования к топливу, используемому при проведении испытаний авиационных газотурбинных двигателей на эмиссию .....	ДОБ 4-1
ДОБАВЛЕНИЕ 5. Приборы и методы измерения эмиссии газообразных веществ при использовании газотурбинных двигателей с форсажной камерой .....	ДОБ 5-1
1. Введение .....	ДОБ 5-1
2. Определения .....	ДОБ 5-1
3. Требуемые данные .....	ДОБ 5-2



	Страница
4. Общее построение системы .....	ДОБ 5-3
5. Описание составных частей .....	ДОБ 5-5
6. Общая методика испытаний .....	ДОБ 5-7
7. Расчеты .....	ДОБ 5-9
Дополнение А к добавлению 5. Технические требования к анализатору НС .....	ДОБ 5-17
Дополнение В к добавлению 5. Технические требования к анализаторам СО И СО <sub>2</sub> .....	ДОБ 5-21
Дополнение С к добавлению 5. Технические требования к анализатору NOx .....	ДОБ 5-25
Дополнение D к добавлению 5. Тарировочные и испытательные газы .....	ДОБ 5-27
Дополнение Е к добавлению 5. Расчет параметров эмиссии: основные положения, внесение поправок в результаты измерения и альтернативный числовой метод .....	ДОБ 5-29
Дополнение F к добавлению 5. Требования в отношении дополнительных данных .....	ДОБ 5-35
ДОБАВЛЕНИЕ 6. Порядок демонстрации соответствия по эмиссии газообразных веществ и дыму .....	ДОБ 6-1
1. Общие положения .....	ДОБ 6-1
2. Порядок демонстрации соответствия .....	ДОБ 6-1
3. Порядок действий в случае несоответствия .....	ДОБ 6-3
ДОБАВЛЕНИЕ 7. Приборы и методы измерения эмиссии нелетучих твердых частиц .....	ДОБ 7-1
1. Введение .....	ДОБ 7-1
2. Определения, акронимы и условные обозначения .....	ДОБ 7-1
3. Требуемые данные .....	ДОБ 7-5
4. Общая компоновка системы отбора проб и измерения нлТЧ .....	ДОБ 7-6
5. Общая методика испытаний .....	ДОБ 7-10
6. Расчеты .....	ДОБ 7-14
Дополнение А к добавлению 7. Требования и рекомендации, касающиеся системы отбора проб нлТЧ .....	ДОБ 7-19
Дополнение В к добавлению 7. Технические требования, касающиеся приборов для определения массы нлТЧ и их тарировки .....	ДОБ 7-25
Дополнение С к добавлению 7. Технические требования, касающиеся уловителя летучих частиц, прибора для определения числа нлТЧ, и их тарировки .....	ДОБ 7-35
Дополнение D к добавлению 7. Технические требования в отношении дополнительных данных .....	ДОБ 7-39
Дополнение Е к добавлению 7. Правила пользования системой .....	ДОБ 7-41
ДОБАВЛЕНИЕ 8. Процедура оценки поправок на потери нлТЧ в системе .....	ДОБ 8-1
1. Общие положения .....	ДОБ 8-1
2. Определения, акронимы и условные обозначения .....	ДОБ 8-1

	<i>Страница</i>
3. Поправочные коэффициенты для определения массы нЛТЧ и численных EI .....	ДОБ 8-4
4. Процедура оценки массовой и численной концентраций в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя с поправкой на потери в системе .....	ДОБ 8-5
5. Доли проникновения частиц через систему в целом.....	ДОБ 8-6
6. Процедура определения доли проникновения частиц через отдельные компоненты системы отбора проб и измерения нЛТЧ.....	ДОБ 8-8

# ПРЕДИСЛОВИЕ

## Историческая справка

В 1972 году в Стокгольме состоялась Конференция Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей человека среды. Позиция ИКАО на этой Конференции была изложена в резолюции A18-11 Ассамблеи, в которой, наряду с прочим, содержится следующее положение:

"2. Выполняя свою роль, ИКАО осознает вредное воздействие на окружающую среду, которое может быть связано с эксплуатацией воздушных судов, а также свои обязанности и обязанность государств – членов ИКАО достичь максимальной совместимости между безопасным и планомерным развитием гражданской авиации и качеством окружающей человека среды".

На 18-й Ассамблее была также принята резолюция A18-12 относительно окружающей среды, в которой говорится:

"АССАМБЛЕЯ:

1. ПРОСИТ Совет при помощи и в сотрудничестве с другими органами Организации и другими международными организациями энергично продолжать работу, связанную с разработкой Стандартов, Рекомендуемой практики и правил и (или) инструктивного материала относительно качества окружающей человека среды".

Эта резолюция привела к учреждению программы действий ИКАО по вопросам окружающей среды. В рамках этой программы действий была создана исследовательская группа для оказания Секретариату помощи при выполнении отдельных задач, связанных с эмиссией авиационных двигателей. В результате деятельности этой исследовательской группы в 1977 году был опубликован циркуляр ИКАО, озаглавленный *"Нормирование эмиссии авиационных двигателей"* (циркуляр 134). В этом циркуляре содержался инструктивный материал о методах сертификации для нормирования сброса топлива, эмиссии дыма и отдельных газообразных веществ для новых турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных для эксплуатации на дозвуковых скоростях.

Совет согласился с тем, что вопрос эмиссии авиационных двигателей не ограничивается лишь объективными техническими аспектами, а заслуживает рассмотрения экспертами во многих областях, а также представления непосредственных замечаний государствами – членами ИКАО. С учетом этого в 1977 году был создан комитет Совета, названный Комитетом по эмиссии авиационных двигателей (CAEE), для проведения работы по ряду аспектов этого вопроса.

На 2-м заседании Комитета по эмиссии авиационных двигателей, состоявшемся в мае 1980 года, были разработаны предложения относительно материала для включения в одно из Приложений ИКАО. После внесения поправок, полученных в результате обычных консультаций с государствами – членами Организации, предложенный материал был принят Советом в качестве текста настоящего документа. Совет согласился с целесообразностью включения всех положений, касающихся экологических аспектов деятельности авиации, в одно Приложение. Исходя из этого, Совет изменил название Приложения 16 на "Охрана окружающей среды", разделив его на том I под названием "Авиационный шум", куда вошел существовавший до этого текст, и том II под названием "Эмиссия авиационных двигателей", содержащий материал, вошедший в настоящий документ.

### Применимость

В части I тома II Приложения 16 содержатся определения, а в части II содержатся Стандарты, относящиеся к выбросу топлива. В части III содержатся Стандарты, относящиеся к сертификации по эмиссии применительно к классам двигателей воздушных судов, оговоренным в отдельных главах части, в тех случаях, когда такие двигатели установлены на воздушных судах международной гражданской авиации. В части IV содержатся рекомендации, касающиеся оценки нелетучих твердых частиц для целей составления кадастра и моделирования.

### Действия Договаривающихся государств

*Уведомление о различиях.* Внимание Договаривающихся государств обращается на налагаемое статьей 38 Конвенции обязательство, по которому Договаривающимся государствам надлежит уведомлять Организацию о любых различиях между их национальными правилами и практикой и содержащимися в настоящем Приложении Международными стандартами и любыми поправками к ним. Договаривающимся государствам предлагается направлять такое уведомление также о различиях с Рекомендуемой практикой, содержащейся в настоящем Приложении, и любых поправках к нему, если уведомление о таких различиях имеет важное значение для безопасности аэронавигации. Кроме того, Договаривающимся государствам предлагается своевременно информировать Организацию о любых различиях, которые могут впоследствии возникнуть, или об устранении каких-либо различий, уведомление о которых было представлено ранее. После принятия каждой поправки к настоящему Приложению Договаривающимся государствам будет незамедлительно направляться конкретная просьба представить уведомление о различиях.

Помимо обязательства государств по статье 38 Конвенции, внимание государств обращается также на положения Приложения 15, касающиеся публикации через посредство служб аэронавигационной информации различий между их национальными правилами и практикой и соответствующими Стандартами и Рекомендуемой практикой ИКАО.

*Использование текста Приложения в национальных правилах.* 13 апреля 1948 года Совет принял резолюцию, в которой обратил внимание Договаривающихся государств на желательность использования ими в своих национальных правилах, насколько это практически возможно, точной формулировки тех Стандартов ИКАО, которые носят нормативный характер, а также уведомления об отклонениях от Стандартов, в том числе о любых дополнительных национальных правилах, имеющих важное значение для безопасности и регулярности международной аэронавигации. Положения настоящего Приложения сформулированы по возможности таким образом, чтобы облегчить их включение, без существенных изменений текста, в национальное законодательство.

### Статус составных частей Приложения

Приложения состоят из указанных ниже частей, которые, однако, необязательно присутствуют в каждом Приложении; эти части имеют следующий статус:

#### 1. Материал собственно Приложения:

- а) *Стандарты и Рекомендуемая практика*, принятые Советом в соответствии с положениями Конвенции. Они определяются следующим образом:

*Стандарт.* Любое требование к физическим характеристикам, конфигурации, материальной части, техническим характеристикам, персоналу или правилам, единообразное применение которого признается необходимым для обеспечения безопасности и регулярности международной аэронавигации и которое Договаривающиеся государства будут соблюдать согласно Конвенции; в случае невозможности соблюдения Стандарта Совету в обязательном порядке направляется уведомление в соответствии со статьей 38.

*Рекомендуемая практика.* Любое требование к физическим характеристикам, конфигурации, материальной части, техническим характеристикам, персоналу или правилам, единообразное применение которого признается желательным в интересах безопасности, регулярности и эффективности международной аэронавигации и которое Договаривающиеся государства будут стремиться соблюдать в соответствии с Конвенцией.

- b) *Добавления*, содержащие материал, который сгруппирован отдельно для удобства пользования, но является составной частью Стандартов и Рекомендуемой практики, принятых Советом.
- c) *Положения*, определяющие порядок применения Стандартов и Рекомендуемой практики.
- d) *Определения* употребляемых в Стандартах и Рекомендуемой практике терминов, которые не имеют общепринятых словарных значений и нуждаются в пояснениях. Определение не имеет самостоятельного статуса, но является важной частью каждого Стандарта и Рекомендуемой практики, в которых употребляется термин, поскольку изменение значения термина может повлиять на смысл требования.
- e) *Таблицы и рисунки*, которые дополняют или иллюстрируют тот или иной Стандарт или Рекомендуемую практику, где на них делается ссылка, являются частью соответствующего Стандарта или Рекомендуемой практики и имеют тот же статус.

2. *Материал, утвержденный Советом для опубликования вместе со Стандартами и Рекомендуемой практикой:*

- a) *Предисловия*, содержащие исторические справки и пояснения к действиям Совета, а также разъяснение обязательств государств по применению Стандартов и Рекомендуемой практики, вытекающих из Конвенции и резолюции о принятии.
- b) *Введения*, содержащие пояснительный материал, помещаемый в начале частей, глав или разделов Приложения для облегчения понимания порядка применения текста.
- c) *Примечания*, включаемые, где это необходимо, в текст, чтобы дать фактологическую информацию или ссылки, имеющие отношение к соответствующим Стандартам и Рекомендуемой практике; эти примечания не являются составной частью Стандартов или Рекомендуемой практики.
- d) *Дополнения*, содержащие материал, который дополняет Стандарты и Рекомендуемую практику или служит руководством по их применению.

### **Непризнание ответственности в связи с патентами**

Обращается внимание на возможность того, что некоторые элементы Стандартов и Рекомендуемой практики в данном Приложении могут быть предметом патентов или других прав интеллектуальной собственности. ИКАО не несет ответственности или обязательств за непредоставление информации, касающейся любого или всех таких прав. ИКАО не занимает никакой позиции в отношении существования действительности, сферы действия или применимости любых заявленных патентов или других прав интеллектуальной собственности и не берет на себя никакой ответственности или обязательств, связанных с этими правами или вытекающими из таковых.

### **Выбор языка**

Настоящее Приложение принято на шести языках: русском, английском, арабском, испанском, китайском и французском. Каждому Договаривающемуся государству предлагается выбрать для целей внутреннего использования и для других предусмотренных Конвенцией целей текст на одном из указанных языков непосредственно или в переводе на свой язык и соответственно уведомить Организацию.

### Редакционная практика

Для быстрого определения статуса каждого положения принят следующий порядок: *Стандарты* печатаются светлым прямым шрифтом; *Рекомендуемая практика* – светлым курсивом с добавлением впереди слова "Рекомендация"; *примечания* – светлым курсивом с добавлением впереди слова "Примечание".

Следует иметь в виду, что при формулировании технических требований на русском языке применяется следующее правило: в тексте Стандартов глагол ставится в настоящем времени, изъявительном наклонении, а в Рекомендуемой практике используются вспомогательные глаголы "следует" или "должен" в соответствующем лице с инфинитивом основного глагола.

Используемые в настоящем документе единицы измерения соответствуют Международной системе единиц (СИ), как указано в Приложении 5 к Конвенции о международной гражданской авиации. В тех случаях, когда Приложение 5 допускает использование альтернативных единиц, не входящих в систему СИ, эти единицы указываются в скобках после основных единиц. В тех случаях, когда приводятся единицы двух систем, нельзя считать, что пары значений равнозначны и взаимозаменяемы. Однако можно исходить из того, что при исключительном использовании единиц той или другой системы обеспечивается эквивалентный уровень безопасности полетов.

Любая ссылка на какой-либо обозначенный номером раздел данного документа относится ко всем его подразделам.

### Координация с деятельностью ИСО

В положениях, касающихся процедур сертификации, используются соответствующие технические требования, разработанные Международной организацией по стандартизации (ИСО). В большинстве случаев эти технические требования включаются путем прямой ссылки. Однако в ряде случаев было признано необходимым модифицировать эти технические требования, с тем чтобы они соответствовали требованиям ИКАО, и тогда этот модифицированный материал полностью включался в настоящий документ. Помощь, оказанная ИСО в разработке подробных технических требований, заслуживает признания.

Таблица А. Поправки к Приложению 16

Поправка	Источник(и)	Вопрос(ы)	Даты принятия, вступления в силу, начала применения
1-е издание	Специальное совещание по авиационному шуму в окрестностях аэродромов (1969)		2 апреля 1971 года 2 августа 1971 года 6 января 1972 года
1	1-е совещание Комитета по авиационному шуму	Сертификация по шуму будущей продукции и модификаций дозвуковых реактивных самолетов и приведение в соответствие терминологии, применяемой для описания веса воздушного судна	6 декабря 1972 года 6 апреля 1973 года 16 августа 1973 года
2	3-е совещание Комитета по авиационному шуму	Сертификация по шуму легких винтовых самолетов и дозвуковых реактивных самолетов с максимальным зарегистрированным взлетным весом 5700 кг и меньше и указание относительно исполнения функций государств в случаях аренды, фрахтования воздушных судов и обмена ими	3 апреля 1974 года 3 августа 1974 года 27 февраля 1975 года
3 (2-е издание)	4-е совещание Комитета по авиационному шуму	Стандарты, касающиеся сертификации по шуму будущих дозвуковых реактивных самолетов и винтовых самолетов, помимо самолетов короткого взлета и посадки, и инструктивные указания относительно сертификации по шуму будущих сверхзвуковых транспортных самолетов, винтовых самолетов короткого взлета и посадки и установленных вспомогательных силовых установок (ВСУ) и связанных с ними систем воздушных судов при эксплуатации в наземных условиях	21 июня 1976 года 21 октября 1976 года 6 октября 1977 года

Поправка	Источник(и)	Вопрос(ы)	Даты принятия, вступления в силу, начала применения
4 (3-е издание)	5-е совещание Комитета по авиационному шуму	Введение в Стандарты, касающиеся сертификации по шуму дозвуковых реактивных самолетов, нового параметра – числа двигателей, усовершенствование составных частей методов сертификации для обеспечения того, чтобы одинаковая технология применялась к каждому типу воздушных судов, и редакционные изменения для упрощения изложения и устранения противоречий	6 марта 1978 года 6 июля 1978 года 10 августа 1978 года
5 (Приложение 16, том I, 1-е издание)	6-е совещание Комитета по авиационному шуму	1. Приложение, получившее название "Охрана окружающей среды" и выпускаемое в двух томах: том I "Авиационный шум" (включающий положения третьего издания Приложения 16 с внесенными в него в соответствии с поправкой 5 изменениями) и том II "Эмиссия авиационных двигателей".  2. Включение в том I Стандартов сертификации по шуму вертолетов и новых моделей эксплуатируемых в настоящее время СТС, обновление рекомендаций по сертификации по шуму бортовых ВСУ и связанных с ними бортовых систем, а также редакционные поправки, включающие изменение единиц измерения для унификации положений настоящего Приложения и Приложения 5	11 мая 1981 года 11 сентября 1981 года 26 ноября 1981 года
6 (Приложение 16, том II, 1-е издание)	2-е совещание Комитета по эмиссии авиационных двигателей	Предисловие к тому II, содержащему Стандарты, связанные с контролем за выбросом топлива, нормированием эмиссии дыма и газообразных веществ от недавно изготовленных турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных в качестве силовых установок на дозвуковых и сверхзвуковых воздушных судах	30 июня 1981 года 30 октября 1981 года 18 февраля 1982 года
1	1-е совещание Комитета по защите окружающей среды от воздействия авиации	Изменения в технических требованиях к топливу, используемому при испытаниях, добавление 4	4 марта 1988 года 31 июля 1988 года 17 ноября 1988 года
2 (2-е издание)	2-е совещание Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации	a) Ужесточение пределов эмиссии NO <sub>x</sub> ; b) совершенствование процедуры сертификации по эмиссии дыма и газообразных веществ	24 марта 1993 года 26 июля 1993 года 11 ноября 1993 года
3	3-е совещание Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации	Изменение приведенных в добавлениях 3 и 5 критериев, касающихся тарифовочных и испытательных газов	20 марта 1997 года 20 марта 1997 года —
4	4-е совещание Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации	Ужесточение требований в отношении предельных уровней эмиссии NO <sub>x</sub>	26 февраля 1999 года 19 июля 1999 года 4 ноября 1999 года
5	6-е совещание Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации	Ужесточение стандартов на эмиссию NO <sub>x</sub>	23 февраля 2005 года 11 июля 2005 года 24 ноября 2005 года
6 (3-е издание)	7-е совещание Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации	a) Уточнение положений, касающихся поправок для учета отклонений от стандартных условий и стандартного двигателя, и используемой терминологии в отношении влажности;  b) внесение изменений, обеспечивающих с согласия сертифицирующего органа возможность использования при испытаниях тех видов топлива, которые не входят в число установленных;  c) стандартизация терминологии, касающейся режимов тяги;  d) пояснение соответствующих значений расхода топлива, подлежащих использованию на каждом режиме цикла LTO;  e) изменение требований, касающихся материалов, которые могут использоваться в проботборниках	7 марта 2008 года 20 июля 2008 года 20 ноября 2008 года

Поправка	Источник(и)	Вопрос(ы)	Даты принятия, вступления в силу, начала применения
7	8-е совещание Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации (САЕР/8)	а) Повышение жесткости Стандартов на эмиссию NO <sub>x</sub> ; б) обновление ссылок на том II <i>"Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде</i> (Дос 9501); в) обновление текста для замены фразы "внесение изменений в процедуру, изложенную" фразой "использование любых процедур, эквивалентных изложенным" в целях улучшения последовательности и согласованности текстов тома II Приложения 16 и тома II <i>"Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде</i> (Дос 9501); д) приведение формата дат начала применения, указанных в п. 2.3.2, в соответствие с согласованным форматом, используемым в Приложении 6 и в томе I Приложения 16; е) улучшение удобочитаемости за счет перестановки некоторых пунктов в соответствующие места; ф) незначительные редакционные изменения	4 марта 2011 года 18 июля 2011 года 17 ноября 2011 года
8	9-е совещание Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации (САЕР/9)	а) Поправки к дополнению А добавления 3 в целях обновления информации о диапазоне температур печи анализатора углеводов (НС); б) поправки, позволяющие использовать современные системы измерения влажности и обновляющие информацию о месте размещения измерительной аппаратуры влажности в ходе испытаний для целей сертификации на эмиссию; в) незначительные редакционные изменения, касающиеся терминологии, нумерации пунктов в тексте документа и типографских изменений	3 марта 2014 года 14 июля 2014 года 1 января 2015 года
9 (4-е издание)	10-е совещание Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации (САЕР/10)	а) Добавление в главу 1 части I тома II Приложения 16 определения термина "сертификат типа"; б) уточнение требований в отношении температуры в линии отбора проб; в) изменения в отношении тарировочного газа для анализатора NO <sub>x</sub> ; д) изменения в отношении содержания нафталинов в технических требованиях к топливу, используемому при проведении испытаний на эмиссию; е) стандарт на эмиссию нелетучих твердых частиц (нЛТЧ) турбовентиляторных и турбореактивных двигателей с расчетной тягой более 26,7 кН, изготовленных после 1 января 2020 года; ф) обеспечение соответствия положений тома II Приложения 16 новому Стандарту на эмиссию нЛТЧ двигателей; г) исправление незначительных ошибок для обеспечения единообразия	3 марта 2017 года 21 июля 2017 года 1 января 2018 года



# МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ И РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПРАКТИКА

## ЧАСТЬ I. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

### ГЛАВА 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В тех случаях, когда в данном Приложении употребляются приведенные ниже термины, они имеют следующие значения:

**Базовая степень повышения давления.** Отношение средней величины полного давления в выходной плоскости последней ступени компрессора к средней величине полного давления во входной плоскости первой ступени компрессора на режиме, когда двигатель развивает номинальную взлетную тягу в стратегических условиях МСА на уровне моря.

*Примечание. Методы измерения базовой степени повышения давления приводятся в добавлении 1.*

**Выхлопное сопло.** При отборе проб эмиссии выхлопных газов газотурбинных двигателей, когда реактивные струи не смешиваются (как это происходит, например, в некоторых турбовентиляторных двигателях), за сопло принимается сопло, через которое проходит поток газа только от газогенератора (основной контур). Однако в тех случаях, когда происходит смешение реактивной струи, за сопло принимается общее выхлопное сопло.

**Дата изготовления.** Дата выпуска документа, удостоверяющего, что конкретное воздушное судно или двигатель соответствуют требованиям, предъявляемым к данному типу, или дате выпуска аналогичного документа.

**Дым.** Содержащиеся в выхлопных газах углеродистые вещества, которые препятствуют прохождению света.

**Нелетучие твердые частицы (нЛТЧ).** Испускаемые частицы, присутствующие в выходной плоскости выхлопного сопла газотурбинного двигателя, которые при нагревании до температуры 350 °C не испаряются.

**Несгоревшие углеводороды.** Общее количество содержащихся в пробе газа углеводородных соединений всех классов и молекулярных весов, вычисленное при условном предположении, что они находятся в пробе в виде метана.

**Окислы азота.** Суммарное количество окиси азота и двуокиси азота, содержащееся в пробе газа, которое вычислено на основе предположения, что окись азота находится в виде двуокиси азота.

**Производный вариант.** Авиационный газотурбинный двигатель того же типа, что и первоначальный сертифицированный двигатель, в котором сохранены основные конструктивные особенности внутреннего контура и камеры сгорания первоначальной модели и у которого, по мнению сертифицирующего органа, не изменены и другие параметры.

*Примечание. Обращается внимание на различие между определением "модифицированный вариант самолета" в томе I Приложения 16 и определением "производный вариант" в настоящем томе.*

**Расчетная тяга.** В целях нормирования эмиссии это – максимальная взлетная тяга, утвержденная сертифицирующим органом для использования в нормальных эксплуатационных условиях, т. е. при МСА на уровне моря в статических условиях и без использования впрыска воды. Тяга выражается в килоньютонках.

**Руление – земной малый газ.** Эксплуатационный этап, включающий выполнение руления и работу на режиме малого газа от начального момента запуска основного(ых) двигателя(ей) и до начала разбега для взлета и от момента выруливания с ВПП до полной остановки основного(ых) двигателя(ей).

**Сертификат типа.** Документ, выданный Договаривающимся государствам для определения конструкции типа воздушного судна и подтверждения того, что эта конструкция отвечает соответствующим нормам летной годности данного государства.

*Примечание.* Для типа двигателя или воздушного винта некоторые государства могут выдавать документ, эквивалентный сертификату типа.

**Форсирование тяги (форсаж).** Режим работы двигателя, при котором питание системы сгорания обеспечивается (полностью или частично) за счет подачи воздуха, содержащего несгоревшее топливо.

**Число дымности.** Безразмерная величина, характеризующая уровень дымления (см. п. 3 добавления 2).

**Этап взлета.** Этап полета, определяемый периодом времени, в течение которого двигатель работает на режиме расчетной тяги.

**Этап захода на посадку.** Этап полета, определяемый периодом времени, в течение которого двигатель работает в эксплуатационном режиме захода на посадку.

**Этап набора высоты.** Этап полета, определяемый периодом времени, в течение которого двигатель работает в эксплуатационном режиме набора высоты.

## ГЛАВА 2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В тех случаях, когда в настоящем Приложении употребляются приведенные ниже условные обозначения, они имеют следующие значения:

нлГЧ	Нелетучие твердые частицы (см. определение)
СО	Оксид углерода
$D_p$	Масса любого газообразного загрязняющего вещества, выделяемого в атмосферу в течение стандартного цикла эмиссии при посадке и взлете
$F_n$	Тяга в условиях международной стандартной атмосферы (МСА) на уровне моря для данного эксплуатационного режима
$F_{oo}$	Расчетная тяга (см. определение)
$F_{oo}^*$	Расчетная тяга при использовании форсажа
НС	Несгоревшие углеводороды (см. определение)
NO	Оксид азота
NO <sub>2</sub>	Двуокись азота
NO <sub>x</sub>	Оксиды азота (см. определение)
SN	Число дымности (см. определение)
$\pi_{oo}$	Базовая степень повышения давления (см. определение)

---



## **ЧАСТЬ II. ВЫБРОС ТОПЛИВА**

### **ГЛАВА 1. АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ВОПРОСЫ**

1.1 Положения настоящей части применимы ко всем воздушным судам с газотурбинными двигателями, занятыми в международной авионавигации, которые изготовлены после 18 февраля 1982 года.

1.2 Сертификация, связанная с предотвращением намеренного выброса топлива, производится полномочным сертифицирующим органом на основе достаточных доказательств того, что данное воздушное судно или авиационный двигатель отвечает требованиям главы 2.

*Примечание. Документ, удостоверяющий сертификацию по выбросу топлива, по форме может представлять собой отдельное удостоверение о сертификации по выбросу топлива или соответствующее указание в другом документе, утвержденном полномочным сертифицирующим органом.*

1.3 Договаривающиеся государства признают действительной сертификацию по выбросу топлива, произведенную полномочным сертифицирующим органом другого Договаривающегося государства, при условии, что требования, в соответствии с которыми производилась сертификация, являются не менее строгими, чем те, которые содержатся в томе II настоящего Приложения.

---



## **ГЛАВА 2. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НАМЕРЕННОГО ВЫБРОСА ТОПЛИВА**

Воздушные суда конструируются и изготавливаются таким образом, чтобы предотвратить преднамеренный выброс в атмосферу жидкого топлива из соплового коллектора в процессе остановки двигателя по завершении нормального полета или операций на земле.

---





## ЧАСТЬ III. СЕРТИФИКАЦИЯ ПО ЭМИССИИ

### ГЛАВА 1. АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ВОПРОСЫ

1.1 Положения пп. 1.2–1.5 применимы ко всем двигателям и их производным вариантам, включенным в классификации, которые определены в главах 2, 3 и 4 для целей сертификации эмиссии, когда эти двигатели установлены на воздушных судах, занятых в международной авионавигации.

1.2 Сертификация по эмиссии производится полномочным сертифицирующим органом на основе достаточных доказательств того, что данный двигатель отвечает требованиям, которые по крайней мере равноценны по жесткости положениям тома II настоящего Приложения. При применении правила, содержащегося в добавлении б, демонстрируется соответствие уровням эмиссии, указанным в главах 2 и 3.

*Примечание. Документ, удостоверяющий сертификацию по эмиссии, по форме может представлять собой отдельное удостоверение о сертификации по эмиссии или соответствующее указание в другом документе, утвержденном полномочным сертифицирующим органом.*

1.3 Документ, удостоверяющий сертификацию каждого отдельного двигателя по эмиссии, включает по крайней мере следующую информацию, относящуюся к данному типу двигателя:

- а) название полномочного сертифицирующего органа;
- б) заводское обозначение типа и модели двигателя;
- в) указание любых дополнительных модификаций, введенных с целью приведения в соответствие с применяемыми требованиями к сертификации по эмиссии;
- г) данные о расчетной тяге;
- д) базовую степень повышения давления;
- е) указание о соблюдении требований к числу дымности;
- ж) указание о соблюдении требований к загрязнению газообразными веществами.

1.4 Договаривающиеся государства признают действительной сертификацию по эмиссии, произведенную полномочным сертифицирующим органом другого Договаривающегося государства, при условии, что требования, в соответствии с которыми производилась сертификация, являются не менее строгими, чем положения, содержащиеся в томе II настоящего Приложения.

1.5 В отношении двигателей Договаривающиеся государства признают действительными исключения из требования о прекращении производства двигателей по эмиссии, предоставленные полномочным сертифицирующим органом другого Договаривающегося государства, при условии, что эти исключения предоставляются в соответствии с процедурой и критериями, определенными в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).



## **ГЛАВА 2. ТУРБОРЕАКТИВНЫЕ И ТУРБОВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ ТОЛЬКО НА ДОЗВУКОВЫХ СКОРОСТЯХ**

### **2.1 Общие положения**

#### **2.1.1 Применимость**

2.1.1.1 Содержащиеся в настоящей главе положения применяются в отношении всех турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных для обеспечения полетов только на дозвуковых скоростях, как это указано в разделах 2.2 и 2.3, за исключением тех случаев, когда полномочные сертифицирующие органы делают исключение в отношении:

- a) конкретных типов двигателей или производных вариантов таких двигателей, для которых был выдан сертификат типа для первого основного образца или была выполнена другая аналогичная установленная процедура до 1 января 1965 года;
- b) ограниченного количества двигателей в пределах конкретного периода времени, изготовленных после дат, оговоренных в разделах 2.2 и 2.3, в отношении изготовления первого серийного образца двигателя.

2.1.1.2 В таких случаях сертифицирующим органом выдается документ, подтверждающий исключение, а на табличку с обозначением двигателя наносится надпись "ОСВОБОЖДЕН ДЛЯ УСТАНОВКИ НА НОВОМ ВС" или "ОСВОБОЖДЕН ДЛЯ ЗАМЕНЫ", причем предоставление такого исключения фиксируется в постоянном формуляре двигателя. Информация об исключениях сопровождается указанием серийного номера двигателя, а доступ к ней обеспечивается через официальный реестр общего пользования.

2.1.1.3 Положения настоящей главы применяются также в отношении двигателей, предназначенных для практических целей, которые в иных случаях обеспечиваются турбореактивными и турбовентиляторными двигателями.

*Примечание. При рассмотрении вопроса об исключениях полномочные сертифицирующие органы должны учитывать предполагаемое число двигателей, которые будут изготовлены, и их влияние на окружающую среду. Когда делается такое исключение, полномочный сертифицирующий орган должен рассмотреть вопрос об ограничении по времени производства двигателей, предназначенных для установки на новом воздушном судне. Дополнительный инструктивный материал по предоставлению исключений содержится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

#### **2.1.2 Рассматриваемая эмиссия**

В целях сертификации двигателей воздушных судов осуществляется нормирование следующих видов эмиссии:

дыма;

газообразных веществ:

несгоревших углеводородов (НС);

окиси углерода (СО);

окислов азота (NO<sub>x</sub>).

## 2.1.3 Единицы измерения

2.1.3.1 При измерении эмиссии дыма результаты измерения выражаются и сообщаются через число дымности (SN).

2.1.3.2 Масса ( $D_p$ ) газообразных загрязняющих веществ HC, CO или NOx, выделяемых в атмосферу в течение стандартного взлетно-посадочного цикла (LTO), определение которого дается в пп. 2.1.4.2 и 2.1.4.3, измеряется и сообщается в граммах.

## 2.1.4 Стандартные условия

## 2.1.4.1 Атмосферные условия

За стандартные атмосферные условия применительно к характеристикам двигателей принимаются условия МСА на уровне моря, за исключением того, что стандартная абсолютная влажность принимается равной 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха.

## 2.1.4.2 Установка режимов тяги

Испытания двигателя производятся на режимах тяги, достаточных для определения характерных для данного двигателя уровней эмиссии газообразных веществ и дыма, с тем чтобы можно было определить массу эмиссии и число дымности при работе двигателя на следующих согласованных с сертифицирующим органом конкретных значениях расчетной тяги (в процентах):

Эксплуатационный режим цикла LTO	Величина тяги
Взлет	100 % $F_{oo}$
Набор высоты	85 % $F_{oo}$
Заход на посадку	30 % $F_{oo}$
Руление/режим земного малого газа	7 % $F_{oo}$

## 2.1.4.3 Эмиссия при стандартном взлетно-посадочном цикле LTO

Для расчета и сообщения данных об эмиссии газообразных веществ при стандартном цикле LTO используются следующие периоды работы на каждом эксплуатационном режиме.

Эксплуатационный режим LTO	Время работы в эксплуатационном режиме (в минутах)
Взлет	0,7
Набор высоты	2,2
Заход на посадку	4,0
Руление/режим земного малого газа	26,0

#### 2.1.4.4 Характеристики топлива

Характеристики используемого при испытаниях топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4.

#### 2.1.5 Условия испытаний

2.1.5.1 Во время испытаний двигатель устанавливается на испытательном стенде.

2.1.5.2 Двигатель представляет собой типичный образец сертифицированной конфигурации (см. добавление 6); отводящие каналы для отбора воздуха и вспомогательные нагрузки, не имеющие отношения к основной работе двигателя, не моделируются.

2.1.5.3 Когда условия испытаний отличаются от стандартных атмосферных условий, указанных в п. 2.1.4.1, результаты испытаний на газообразную эмиссию приводятся к стандартным атмосферным условиям в соответствии с процедурами, указанными в добавлении 3.

### 2.2 Дым

#### 2.2.1 Применимость

Положения п. 2.2.2 применены к двигателям, изготовленным 1 января 1983 года или позже.

#### 2.2.2 Нормативное число дымности

Число дымности на любом из четырех эксплуатационных режимов тяги цикла LTO, измеренное и вычисленное в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 2, или эквивалентными процедурами, утвержденными сертифицирующим органом, и приведенное к характерному уровню с помощью содержащихся в добавлении 6 правил, не превышает значений, определенных по следующей формуле:

Нормативное число дымности =  $83,6 (F_{oo})^{-0,274}$   
или величина 50, в зависимости от того, какое из этих значений меньше.

*Примечание. Инструктивный материал по определению и использованию эквивалентных процедур содержится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

### 2.3 Эмиссия газообразных веществ

#### 2.3.1 Применимость

Положения п. 2.3.2 применены к двигателям с расчетной тягой более 26,7 кН, которые изготовлены 1 января 1986 года или позже, с учетом дополнительных требований в отношении окислов азота.

## 2.3.2 Нормативные уровни

Уровни эмиссии газообразных веществ, измеренные и вычисленные в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 3, или эквивалентными процедурами, утвержденными сертифицирующим органом, и приведенные к характерным уровням с помощью содержащихся в добавлении 6 правил, не превышают нормативных уровней, определенных по следующей формуле:

углеводороды (HC):  $D_p/F_{oo} = 19,6$ ;

окись углерода (CO):  $D_p/F_{oo} = 118$ ;

окислы азота (NOx):

- a) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен до 1 января 1996 года и конкретный экземпляр которых изготовлен до 1 января 2000 года:

$$D_p/F_{oo} = 40 + 2\pi_{oo};$$

- b) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен 1 января 1996 года или после этой даты или конкретный экземпляр которых изготовлен 1 января 2000 года или после этой даты.

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo};$$

- c) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен 1 января 2004 года или после этой даты:

- 1) для двигателей со степенью повышения давления 30 или менее:

- i) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 19 + 1,6\pi_{oo};$$

- ii) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 37,572 + 1,6\pi_{oo} - 0,2087F_{oo};$$

- 2) для двигателей со степенью превышения давления более 30, но менее 62,5:

- i) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 7 + 2,0\pi_{oo};$$

- ii) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 42,71 + 1,4286\pi_{oo} - 0,4013F_{oo} + 0,00642\pi_{oo} \times F_{oo};$$

- 3) для двигателей со степенью повышения давления 62,5 или более:

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo};$$

- d) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен 1 января 2008 года или после этой даты или конкретный экземпляр которых изготовлен 1 января 2013 года или после этой даты:

- 1) для двигателей со степенью повышения давления 30 или менее:

- i) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 16,72 + 1,4080\pi_{oo};$$

- ii) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 38,5486 + 1,6823\pi_{oo} - 0,2453F_{oo} - 0,00308\pi_{oo}F_{oo};$$

- 2) для двигателей со степенью повышения давления более 30, но менее 82,6:

- i) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = -1,04 + 2,0\pi_{oo};$$

- ii) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 46,1600 + 1,4286\pi_{oo} - 0,5303F_{oo} + 0,00642\pi_{oo}F_{oo};$$

- 3) для двигателей со степенью повышения давления 82,6 или более:

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,60\pi_{oo};$$

- е) для двигателей типа и модели, первый серийный образец которых изготовлен 1 января 2014 года или после этой даты:

- 1) для двигателей со степенью повышения давления 30 или менее:

- i) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 7,88 + 1,4080\pi_{oo};$$

- ii) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 40,052 + 1,5681\pi_{oo} - 0,3615F_{oo} - 0,0018\pi_{oo}F_{oo};$$

- 2) для двигателей со степенью повышения давления более 30, но менее 104,7:

- i) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = -9,88 + 2,0\pi_{oo};$$

- ii) для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p/F_{oo} = 41,9435 + 1,505\pi_{oo} - 0,5823F_{oo} + 0,005562\pi_{oo}F_{oo};$$

- 3) для двигателей со степенью повышения давления 104,7 или более:

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}.$$

*Примечание. Инструктивный материал по определению и использованию эквивалентных процедур приводится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

## 2.4 Требуемая информация

*Примечание. Требуемая информация подразделяется на три группы: 1) общая информация для определения характеристик двигателя, используемого топлива и метода анализа данных; 2) данные, полученные при испытании(ях) двигателя(ей), 3) полученные при испытании двигателя результаты расчетов.*

### 2.4.1 Общая информация

Для каждого типа двигателя, который подлежит сертификации по дыму или эмиссии газообразных веществ, представляется следующая информация:

- a) обозначение двигателя;
- b) расчетная тяга (в кН);
- c) исходная степень повышения давления;
- d) стандартные характеристики топлива;
- e) отношение количества водорода к количеству углерода в топливе;
- f) методы сбора данных;
- g) метод внесения поправок на окружающие условия;
- h) метод анализа данных.

### 2.4.2 Информация об испытании

По каждому двигателю, испытываемому в целях сертификации на режимах тяги, указанных в п. 2.1.4.2, представляется перечисленная ниже информация. В соответствующих случаях эта информация представляется после приведения ее к стандартным окружающим условиям:

- a) расход топлива (кг/с);
- b) индекс эмиссии (г/кг) для каждого газообразного загрязнителя;
- c) измеренное число дымности.

### 2.4.3 Производная информация

2.4.3.1 По каждому испытываемому в целях сертификации двигателю представляется следующая производная информация:

- a) интенсивность эмиссии, т. е. индекс эмиссии, умноженный на расход топлива (г/с) для каждого газообразного загрязнителя;
- b) общий объем эмиссии каждого газообразного загрязнителя, замеренный по циклу LTO (в граммах);



с) значение  $D_p/F_{oo}$  для каждого газообразного загрязнителя (г/кН);

d) максимальное число дымности.

2.4.3.2 Характерные уровни эмиссии газообразных загрязнителей и число дымности представляются для каждого сертифицируемого типа двигателей.



## ГЛАВА 3. ТУРБОРЕАКТИВНЫЕ И ТУРБОВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ НА СВЕРХЗВУКОВЫХ СКОРОСТЯХ

### 3.1 Общие положения

#### 3.1.1 Применимость

Содержащиеся в настоящей главе положения применяются в отношении всех турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных для обеспечения полетов на сверхзвуковых скоростях и изготовленных 18 февраля 1982 года или позже.

#### 3.1.2 Эмиссии, подлежащие нормированию

С целью сертификации двигателей воздушных судов осуществляется нормирование следующих видов эмиссии:

дыма;

газообразных веществ:

несгоревших углеводородов (НС);

окиси углерода (СО);

окислов азота (NO<sub>x</sub>).

#### 3.1.3 Единицы измерения

3.1.3.1 Результаты измерения эмиссии дыма выражаются и сообщаются через число дымности (SN).

3.1.3.2 Масса ( $D_p$ ) газообразных загрязняющих веществ НС, СО или NO<sub>x</sub>, выделяемых в атмосферу в течение стандартного цикла эмиссии при посадке и взлете (LTO), определенного в пп. 3.1.5.2 и 3.1.5.3, измеряется и сообщается в граммах.

#### 3.1.4 Обозначения

В настоящей главе обозначение  $F_{oo}^*$  должно заменяться на  $F_{oo}$  для двигателей, которые не применяют форсаж. Когда дается характеристика режима руления или малого газа на земле, обозначение  $F_{oo}$  используется во всех случаях.

#### 3.1.5 Стандартные условия

##### 3.1.5.1 Атмосферные условия

За стандартные атмосферные условия принимаются условия МСА на уровне моря, за исключением того, что стандартная абсолютная влажность принимается равной 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха.

## 3.1.5.2 Установка режимов тяги

Испытания двигателя производятся на режимах тяги, достаточных для определения характерных для данного двигателя уровней эмиссии газообразных веществ и дыма, с тем чтобы можно было определить массу эмиссии газообразных веществ и число дымности, скорректированные относительно стандартных окружающих условий, при работе двигателя на следующих согласованных с сертифицирующим органом конкретных значениях расчетной мощности (в процентах):

<i>Эксплуатационный режим</i>	<i>Режим тяги</i>
Взлет	100 % $F_{oo}^*$
Набор высоты	65 % $F_{oo}^*$
Снижение	15 % $F_{oo}^*$
Заход на посадку	34 % $F_{oo}^*$
Руление/режим малого газа на земле	5,8 % $F_{oo}$

## 3.1.5.3 Стандартный цикл эмиссии при посадке и взлете (LTO)

В целях вычисления и представления данных об эмиссии газообразных веществ стандартный цикл эмиссии при посадке и взлете (LTO) соответствует следующему времени работы в каждом эксплуатационном режиме.

<i>Эксплуатационный режим LTO</i>	<i>Время работы в эксплуатационном режиме (в минутах)</i>
Взлет	1,2
Набор высоты	2,0
Снижение	1,2
Заход на посадку	2,3
Руление/режим малого газа на земле	26,0

## 3.1.5.4 Характеристики топлива

Характеристики используемого при испытаниях топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4. Топливо не содержит присадок, используемых для подавления дыма (таких как металлоорганические соединения).

## 3.1.6 Условия испытаний

3.1.6.1 Во время испытаний двигатель устанавливается на испытательном стенде.

3.1.6.2 Двигатель представляет собой типичный образец сертифицированной конфигурации (см. добавление 6); отводящие каналы для отбора воздуха и вспомогательные нагрузки, не имеющие отношения к основной работе двигателя, не моделируются.

3.1.6.3 С целью определения уровней эмиссии измерения при тяге, величины которой указаны в п. 3.1.5.2, выполняются на обычно используемом уровне форсажа.

3.1.6.4 Когда условия испытания отличаются от стандартных условий, указанных в п. 3.1.5, результаты испытаний приводятся к стандартным условиям в соответствии с процедурами, указанными в добавлении 5.

## 3.2 Дым

### 3.2.1 Нормативное число дымности

Число дымности на любом установленном режиме тяги, измеренное и вычисленное в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 2, и приведенное к характерному уровню с помощью правил, содержащихся в добавлении 6, не превышает нормативного уровня, определенного по следующей формуле:

$$\text{Нормативное число дымности} = 83,6 (F_{oo}^*)^{-0,274}$$

или значение 50, в зависимости от того, какое из этих значений меньше.

*Примечание. Полномочные сертифицирующие органы могут также согласиться со значениями, полученными при использовании форсажа, при условии, что достоверность этих данных подтверждена должным образом.*

## 3.3 Эмиссия газообразных веществ

### 3.3.1 Нормативные уровни

Уровни эмиссии газообразных веществ, измеренные и вычисленные в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 3 или добавлении 5, и приведенные к характерным уровням с помощью содержащихся в добавлении 6 правил, не превышают нормативных уровней, определенных по следующей формуле:

$$\text{углеводороды (HC): } D_p / F_{oo}^* = 140(0,92)^{\pi_{oo}};$$

$$\text{окись углерода (CO): } D_p / F_{oo}^* = 4550(\pi_{oo})^{-1,03};$$

$$\text{окислы азота (NOx): } D_p / F_{oo}^* = 36 + 2,42 \pi_{oo}.$$

*Примечание. Характерный уровень числа дымности или эмиссии газообразных загрязнителей является средним значением результатов всех опробованных двигателей, измеренных и скорректированных относительно исходного стандартного двигателя и исходных окружающих условий, поделенных на коэффициент, соответствующий количеству опробованных двигателей, как это указано в добавлении 6.*

### 3.4 Требуемая информация

*Примечание. Требуемая информация подразделяется на три группы: 1) общая информация для определения характеристик двигателя, используемого топлива и метода анализа данных; 2) данные, полученные при испытании(ях) двигателя(ей); 3) полученные при испытании двигателя результаты расчетов.*

3.4.1 По каждому типу двигателя, который подлежит сертификации по эмиссии, представляется следующая информация:

- a) обозначение двигателя;
- b) расчетная тяга (в кН);
- c) расчетная тяга при использовании, в случае необходимости, форсажа (в кН);
- d) исходная степень повышения давления;
- e) стандартные характеристики топлива;
- f) отношение количества водорода к количеству углерода в топливе;
- g) методы сбора данных;
- h) методы внесения поправок относительно окружающих условий;
- i) метод анализа данных.

#### 3.4.2 Информация об испытаниях

По каждому двигателю, испытываемому в целях сертификации на указанных в п. 3.1.5.2 режимах тяги, представляется перечисленная ниже информация. В соответствующих случаях эта информация представляется после приведения ее к стандартным окружающим условиям:

- a) расход топлива (кг/);
- b) индекс эмиссии (г/кг) для каждого газообразного загрязнителя;
- c) процентное увеличение тяги при форсаже;
- d) измеренное число дымности.

#### 3.4.3 Производная информация

3.4.3.1 По каждому испытываемому в целях сертификации двигателю представляется следующая производная информация:

- a) интенсивность эмиссии, т. е. индекс эмиссии, умноженный на расход топлива (г/с) для каждого газообразного загрязнителя;
- b) общий объем эмиссии каждого газообразного загрязнителя, замеренный по циклу LTO (в граммах);

- с) значения  $D_p / F_{oo}^*$  для каждого газообразного загрязнителя (г/кН);
- d) максимальное число дымности.

3.4.3.2 Каждый тип двигателя, для которого запрашивается сертификат на эмиссию, должен быть снабжен характерным числом дымности и уровнями эмиссии газообразных загрязнителей.

*Примечание. Характерный уровень числа дымности или эмиссии газообразных загрязнителей является средним значением результатов испытаний всех опробованных двигателей, измеренных и скорректированных относительно исходного стандартного двигателя и исходных окружающих условий, поделенных на коэффициент, соответствующий количеству опробованных двигателей, как это указано в добавлении б.*





## ГЛАВА 4. ЭМИССИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

### 4.1 Общие положения

#### 4.1.1 Применимость

Содержащиеся в настоящей главе положения применяются в отношении всех авиационных двигателей, предназначенных для обеспечения полетов только на дозвуковых скоростях, заявка на сертификат типа которых подана сертифицирующему полномочному органу. Конкретные положения для соответствующих категорий двигателей применяются в соответствии с материалом в разделе 4.2.

#### 4.1.2 Рассматриваемая эмиссия

Цель настоящего раздела заключается в нормировании массовой (нЛТЧ<sub>mass</sub>) эмиссии нелетучих твердых частиц.

#### 4.1.3 Единицы измерения

Массовая концентрация нЛТЧ (нЛТЧ<sub>mass</sub>) сообщается в мкг/м<sup>3</sup>.

#### 4.1.4 Стандартные условия

##### 4.1.4.1 Атмосферные условия

За стандартные атмосферные условия принимаются условия МСА на уровне моря, за исключением того, что стандартная абсолютная влажность принимается равной 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха.

##### 4.1.4.2 Эмиссия при стандартном взлетно-посадочном цикле (LTO)

Испытания двигателя производятся на режимах тяги, достаточных для определения эмиссии нЛТЧ двигателя, с тем чтобы можно было установить массовые индексы эмиссии (EI<sub>mass</sub>) нЛТЧ и численные индексы эмиссии (EI<sub>num</sub>) нЛТЧ при следующих согласованных сертифицирующим органом конкретных значениях (в процентах) расчетной тяги и режимах тяги, создающих максимальную концентрацию нЛТЧ<sub>mass</sub>, максимальный EI<sub>mass</sub> и максимальный EI<sub>num</sub>:

Эксплуатационный режим LTO	Величина тяги
Взлет	100 % $F_{oo}$
Набор высоты	85 % $F_{oo}$
Заход на посадку	30 % $F_{oo}$
Руление/режим земного малого газа	7 % $F_{oo}$

#### 4.1.4.3 Характеристики топлива

Характеристики используемого при испытаниях топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4.

#### 4.1.5 Условия испытаний

4.1.5.1 Во время испытаний двигатель устанавливается на испытательном стенде.

4.1.5.2 Двигатель представляет собой типичный образец сертифицированной конфигурации (см. добавление 6); отводящие каналы для отбора воздуха и вспомогательные нагрузки, не имеющие отношения к основной работе двигателя, не моделируются.

4.1.5.3 Когда условия испытаний отличаются от стандартных атмосферных условий, указанных в п. 4.1.4.1,  $EI_{mass}$  и  $EI_{lum}$  приводятся к температуре на входе в камеру сгорания двигателя при стандартных атмосферных условиях согласно процедурам, указанным в добавлении 7.

4.1.5.4 В значения максимальной концентрации  $нлТЧ_{mass}$  и  $EI_{mass}$  и  $EI_{lum}$  вносятся поправки на термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб согласно процедурам в добавлении 7.

### 4.2 Эмиссия нелетучих твердых частиц

#### 4.2.1 Применимость

Положения, указанные ниже в пп. 4.2.2 и 4.2.3, применяются ко всем турбовентиляторным и турбореактивным двигателям типа или модели и к их производным вариантам с расчетной тягой более 26,7 кН, конкретный экземпляр которых изготовлен 1 января 2020 года или после этой даты.

#### 4.2.2 Нормативные уровни

Максимальная концентрация  $нлТЧ_{mass}$  [мкг/м<sup>3</sup>], полученная в результате измерения при достаточных режимах тяги таким образом, чтобы можно было определить и рассчитать максимальное значение эмиссии в соответствии с процедурами добавления 7 и перевести в характерные уровни согласно процедурам добавления 6 или эквивалентным процедурам, согласованным с сертифицирующим органом, не превышает уровень, определенный по следующей формуле:

$$\text{Нормативный предел концентрации } нлТЧ_{mass} = 10^{(3 + 2,9 F_{oo}^{-0,274})}.$$

#### 4.2.3 Требования в отношении сообщения данных

Изготовитель сообщает следующие значения эмиссии  $нлТЧ$ , измеренные и рассчитанные в соответствии с процедурами добавления 7 или эквивалентными процедурами, согласованными с сертифицирующим органом:

- a) характерный уровень максимальной концентрации  $нлТЧ_{mass}$  (мкг/м<sup>3</sup>),
- b) расход топлива (кг/с) на каждом режиме тяги цикла LTO,
- c)  $EI_{mass}$  (мг/кг топлива) на каждом режиме тяги цикла LTO,

- d)  $EI_{num}$  (частиц/кг топлива) на каждом режиме тяги цикла LTO,
- e) максимальный  $EI_{mass}$  (мг/кг топлива),
- f) максимальный  $EI_{num}$  (частиц/кг топлива).

### 4.3 Требуемая информация

*Примечание. Требуемая информация подразделяется на две группы: 1) общая информация для определения характеристик двигателя, используемого топлива и метода анализа данных; и 2) данные, получаемые при испытании(ях) двигателя(ей).*

#### 4.3.1 Общая информация

По каждому типу двигателя, который подлежит сертификации по эмиссии, представляется следующая информация:

- a) обозначение двигателя;
- b) расчетная тяга (в кН);
- c) исходная степень повышения давления;
- d) стандартные характеристики топлива;
- e) отношение количества водорода к количеству углерода в топливе;
- f) методы сбора данных;
- g) метод внесения поправок на термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб;
- h) метод анализа данных.

#### 4.3.2 Информация об испытании

По каждому испытанию представляется следующая информация:

- a) полезная теплота сгорания (МДж/кг);
- b) содержание водорода в топливе (в % к массе);
- c) общее содержание ароматических веществ в топливе (в % к объему);
- d) содержание нафталинов в топливе (в % к объему);
- e) содержание серы в топливе (в % к массе).



## ЧАСТЬ IV. ОЦЕНКА НЕЛЕТУЧИХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ЦЕЛЯХ СОСТАВЛЕНИЯ КАДАСТРА И МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Примечание 1. Цель данной части заключается в предоставлении рекомендаций относительно методов расчета поправочных коэффициентов массовой и численной концентрации нлТЧ на потери в системе нлТЧ, кроме термофоретических потерь в коллекторном блоке. Описание системы нлТЧ, коллекторного блока и расчета термофоретических потерь содержится в добавлении 7.*

*Примечание 2. Поправочные коэффициенты на потерю в системе массы и числа нлТЧ позволяют оценить массовую и численную концентрацию нлТЧ на выходе авиационного двигателя по массовой и численной концентрации нлТЧ, полученной согласно процедурам, описанным в добавлении 7.*

**Рекомендация 1.** Для целей составления кадастра и моделирования изготовители авиационных газотурбинных двигателей должны определить поправочные коэффициенты ( $k_{SL\_mass}$  и  $k_{SL\_num}$ ) на потери в системе массы и числа нлТЧ с помощью изложенной в добавлении 8 методики и должны сообщить эти коэффициенты соответствующему полномочному органу.

**Рекомендация 2.** Для целей составления кадастра и моделирования значения массовой и численной концентрации нлТЧ, полученные согласно изложенным в добавлении 7 процедурам, должны быть внесены поправки на потери в системе с использованием методики, изложенной в добавлении 8.



# ДОБАВЛЕНИЕ 1. ИЗМЕРЕНИЕ ИСХОДНОЙ СТЕПЕНИ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 При определении степени повышения давления используется двигатель в штатной компоновке.

1.2 Исходная степень повышения давления определяется посредством корреляции измеренной степени повышения давления с тягой двигателя, приведенной к внешнему давлению стандартного дня, и введения этой корреляции при номинальной взлетной тяге стандартного дня.

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ

2.1 Полное давление измеряется в выходной плоскости последней ступени компрессора и на входе первой ступени компрессора путем установки по крайней мере четырех датчиков с целью разделения зоны воздушного потока на четыре равных сектора и принятия затем среднего значения от четырех полученных величин.

*Примечание. Полное давление на выходе компрессора может быть получено на основе полного или статического давления, измеренного в точке, расположенной как можно ближе к выходной плоскости компрессора. Однако если двигатель сконструирован таким образом, что при проведении сертификационного испытания по эмиссии установка датчиков указанным выше способом практически невозможна, то полномочный сертифицирующий орган по своему усмотрению может утвердить другие методы оценки полного давления на выходе компрессора.*

2.2 Необходимые для таких оценок поправочные коэффициенты определяются в процессе сертифицированных испытаний типа с использованием как минимум одного двигателя и любых испытаний соответствующих узлов и элементов двигателя и путем анализа.

2.3 Эти методы являются приемлемыми для полномочного сертифицирующего органа.





## ДОБАВЛЕНИЕ 2. ОЦЕНКА ЭМИССИИ ДЫМА

### 1. ВВЕДЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Примечание. Указанные в настоящем добавлении правила относятся к получению представительных проб выхлопных газов, их подаче в систему измерения эмиссии, а также их анализу с помощью этой системы.*

1.1 Использование любых процедур, эквивалентных изложенным в добавлении, разрешается после представления предварительной заявки и ее утверждения полномочным сертифицирующим органом.

1.2 В тех случаях, когда в настоящем дополнении употребляются приведенные ниже термины и условные обозначения, они имеют следующие значения:

**Объем пробы.** Выбранный объем пробы (выраженный в  $\text{м}^3$ ), эквивалентная масса которого, рассчитанная согласно п. 3 данного добавления, совпадает с приведенным ниже определением размера пробы.

**Размер пробы.** Отобранная проба выхлопного газа, величина массы которой (выраженная в кг на  $1 \text{ м}^2$  площади поверхности загрязненного фильтра) находится в интервале, указанном в п. 2.5.3 h) данного добавления, и которая при пропускании через фильтрующий материал вызывает изменение коэффициента отражения, дающего значения параметра SN.

**Эталонный размер пробы.** Масса пробы,  $16,2 \text{ кг/м}^2$  загрязненной площади фильтра, при пропускании которой через фильтрующий материал происходит изменение отражательной способности, по которой определяется значение параметра SN.

SN Число дымности. Безразмерная величина, характеризующая уровень эмиссии дыма на основании загрязнения фильтра эталонной массой пробы выхлопного газа, которая измеряется по шкале в пределах от 0 до 100 (см. п. 3 данного добавления).

SN' Число дымности, полученное в результате исследования отдельной пробы дыма, не обязательно эталонного размера, как определено в п. 3 данного добавления.

W Масса отдельной пробы выхлопного газа в килограммах, вычисленная на основании измерений объема, давления и температуры пробы (см. п. 3 данного добавления).

### 2. ИЗМЕРЕНИЕ ЭМИССИИ ДЫМА

#### 2.1 Пробоотборник эмиссии дыма

Пробоотборник отвечает следующим требованиям:

- а) Материалом пробоотборника, в контакт с которым вступает проба эмиссии выхлопных газов, являются нержавеющей сталь или любой другой химически неактивный материал.
- б) Если используется пробоотборник с несколькими отверстиями для отбора проб, все отверстия для отбора проб имеют равный диаметр. Пробоотборник конструируется таким образом, чтобы по крайней мере 80 % падения давления, проходящего через него потока, приходилось на отверстия.

- с) Число точек для отбора проб составляет не менее 12.
- д) Плоскость отбора проб располагается настолько близко к плоскости выхлопного сопла двигателя, насколько это позволяют характеристики двигателя, однако в любом случае она находится на удалении от выходной плоскости не более чем на расстоянии, равном 0,5 диаметра сопла.
- е) Подающий заявку представляет полномочному сертифицирующему органу, с помощью подробных эюр распределения чисел дымности, доказательства того, что предлагаемая им конструкция пробоотборника и его местоположение обеспечат получение представительных проб для каждой из установленных величин тяги.

## 2.2 Линия подачи проб эмиссии дыма

2.2.1 Проба подается из пробоотборника в систему сбора проб по линии с внутренним диаметром 4,0–8,5 мм по кратчайшему маршруту, длина которого ни в коем случае не превышает 25 м. Температура в этой линии поддерживается в интервале 60–175 °С, причем отклонения не превышают  $\pm 15$  °С, за исключением расстояния, необходимого для охлаждения газа с уровня температуры выхлопных газов до температуры регулирования в линии.

2.2.2 Линии подачи проб являются по возможности "прямыми на всем протяжении". Радиусы любых необходимых изгибов более чем в 10 раз превышают внутренний диаметр этих линий. Для изготовления линий используются такие материалы, которые предотвращают накопление твердых частиц вещества или статического электричества.

*Примечание. Нержавеющая сталь или заземленный насыщенный углеродом политетрафторэтилен (ПТФЭ) отвечают этим требованиям.*

## 2.3 Система анализа дыма

*Примечание. Рекомендуемый ниже метод основан на измерении уменьшения коэффициента отражения фильтра по мере его загрязнения при прохождении через него пробы выхлопных газов с данным массовым расходом.*

Расположение различных компонентов системы, предназначенных для получения необходимых образцов загрязненных фильтров, имеет вид, схематически показанный на рис. А2-1. Вблизи расходомера может устанавливаться дополнительный перепускной клапан для упрощения снятия показаний. Основные элементы системы отвечают следующим требованиям:

- а) *Измерение объема проб:* для измерения объема пробы с точностью до  $\pm 2$  % используется влажный или сухой положительный объемный расходомер. Измеряются также давление и температура на входе в расходомер с точностью соответственно 0,2 % и  $\pm 2$  °С.
- б) *Измерение расхода газов, содержащихся в пробах:* расход газов, содержащихся в пробах, поддерживается в пределах 14 л/мин  $\pm$  0,5 л/мин; используемый с этой целью расходомер имеет точность  $\pm 5$  %.
- с) *Фильтр и держатель:* держатель фильтра изготавливается из коррозионно-стойкого материала и имеет конфигурацию внутреннего канала потока, показанную на рис. А2-1. Фильтр изготавливается из ватмана № 4 или любого аналогичного материала, одобренного полномочным сертифицирующим органом.
- д) *Клапаны:* в соответствии с рис. А2-1 предусматривается наличие четырех клапанов:
  - 1) клапан А представляет собой быстродействующий переключатель потока, позволяющий отклонять поток для того, чтобы направлять входящие пробы через измерительный фильтр или по обходным каналам, а также для того, чтобы перекрывать поток.

*Примечание. В случае необходимости клапан А может состоять из двух связанных между собой клапанов, что позволяет обеспечивать выполнение необходимых функций;*

- 2) клапаны В и С представляют собой дроссельные клапаны; они используются для регулирования расхода газов в системе;
- 3) клапан D представляет собой запорный клапан; он служит для того, чтобы изолировать держатель фильтра.

Все клапаны изготавливаются из коррозионно-стойкого материала.

- е) *Вакуумный насос:* при отсутствии потока разряжение в насосе по отношению к атмосферному давлению составляет  $-75$  кПа; при нормальной температуре и давлении полный расход через него составляет не менее 28 л/мин.
- ф) *Регулирование температуры:* температура по всей внутренней линии подвода проб анализатора до держателя фильтра поддерживается в интервале  $60-175$  °С с точностью  $\pm 15$  °С.

*Примечание. Осуществляется с целью предотвращения конденсации воды перед и в зоне держателя фильтра.*

- g) Если через пробоотборник желательнее обеспечить более высокий расход отбираемых проб газов, чем через держатель фильтра, между пробоотборником и клапаном А (рис. А2-1) можно дополнительно разместить произвольный разделитель потока для сброса излишнего потока газов. Линия сброса располагается по возможности ближе к газоотводу пробоотборника и не влияет на способность системы отбора проб обеспечивать требуемое падение давления на 80 % в пределах блока пробоотборника. Сбрасываемый поток газов может направляться в анализатор  $\text{CO}_2$  или систему анализа видов эмиссии.
- h) Если используется разделитель потока, то проводятся испытания для демонстрации того, что этот разделитель потока не изменяет уровень дыма, поступающего в держатель фильтра. Это может обеспечиваться путем поворота выходных линий в противоположную от разделителя потока сторону и показа того, что в пределах точности метода уровень дыма не меняется.
- i) *Утечка:* подсистема соответствует требованиям, предъявляемым при проведении следующего испытания:
  - 1) закрепить чистый фильтр в держателе;
  - 2) закрыть клапан А и полностью открыть клапаны В, С и D;
  - 3) включить вакуумный насос на 1 мин для того, чтобы уравнивать давление;
  - 4) оставить насос включенным и измерить объемный расход через расходомер в течение 5 мин. Этот объем не превышает 5 л (при нормальной температуре и давлении); система не используется до тех пор, пока не будут выполнены эти требования.
- j) *Рефлектометр:* измерение плотности диффузного отражения материала фильтра осуществляется с помощью прибора, соответствующего стандарту ИСО 5-4<sup>1</sup> Международной организации по стандартизации. Диаметр светового луча рефлектометра на фильтровальной бумаге не превышает  $D/2$ , а также составляет не менее  $D/10$ , где  $D$  – диаметр пятна на фильтре (см. рис. А2-1).

---

1. Международная организация по стандартизации, стандарт ИСО 5-4 1995 года, озаглавленный "Фотография. Измерение плотности. Часть 4 "Геометрические условия для плотности отражения".

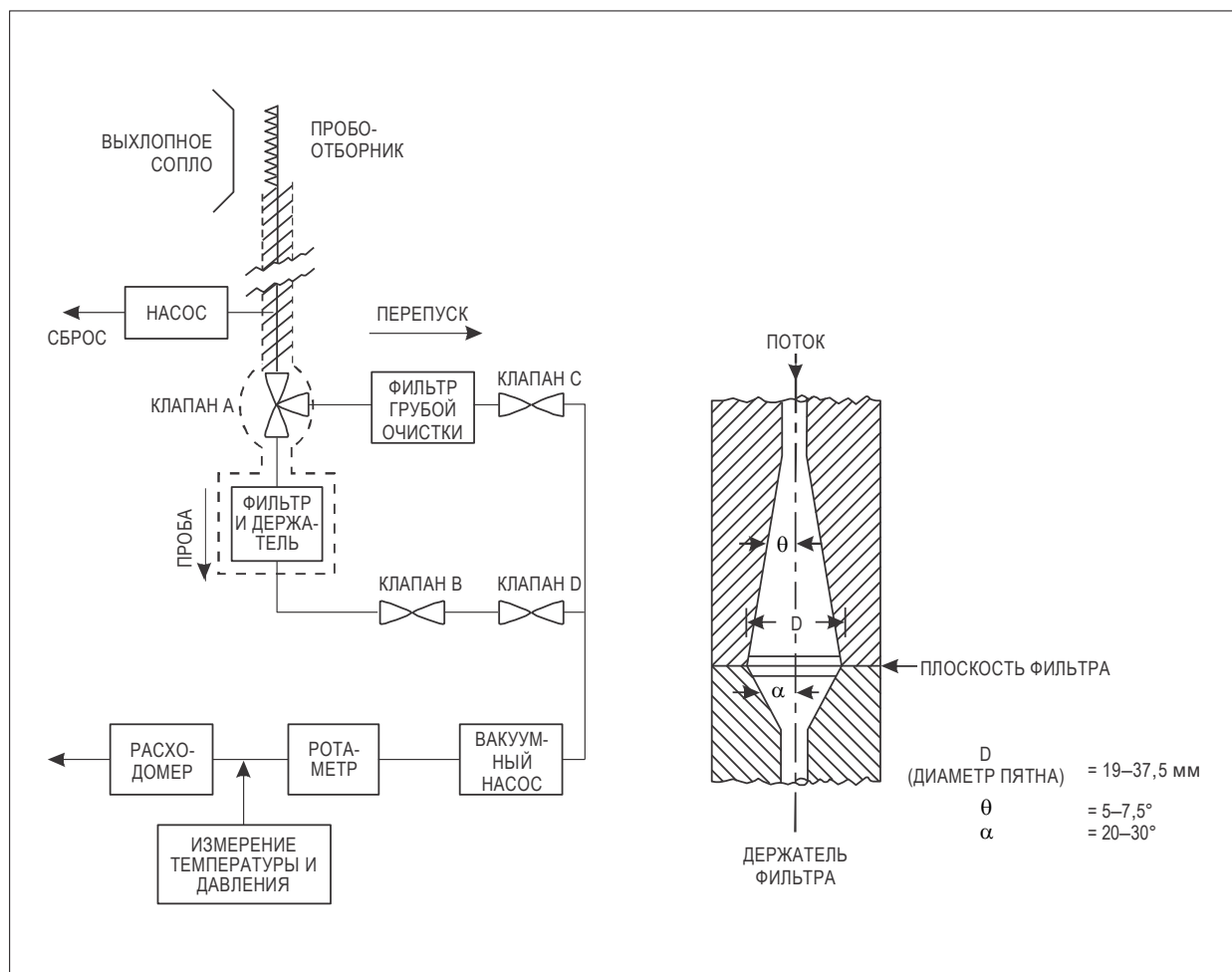


Рис. А2-1. Система анализа дыма

## 2.4 Характеристики топлива

Характеристики топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4.

## 2.5 Методы измерения характеристик дыма

### 2.5.1 Работа двигателя

2.5.1.1 Двигатель работает на стационарном испытательном стенде, который соответствующим образом оборудован для высокоточных испытаний.

2.5.1.2 Испытания проводятся при величинах тяги, утвержденных полномочным сертифицирующим органом. Обеспечивается стабильная работа двигателя при каждой величине тяги.

## 2.5.2 Проверка на утечку и чистоту

Не производится никаких измерений, пока все линии передачи проб и клапаны не будут подогреты и стабилизированы. Перед серией испытаний система проверяется на утечку и чистоту следующим образом:

- a) *проверка на утечку*: отсоединить пробоотборник от линии и закрыть конец линии передачи проб, выполнить проверку, как указано в п. 2.3 h), за исключением того, что клапан А открыт и установлен в положение "перепуск", клапан D закрыт, а допустимый уровень утечки составляет 2 л. Вновь соединить пробоотборник с линией;
- b) *проверка на чистоту*:
  - 1) открыть клапаны В, С и D;
  - 2) запустить вакуумный насос и попеременно устанавливая клапан А в положение "перепуск" и "проба" в течение 5 мин, чтобы заполнить всю систему чистым воздухом,
  - 3) установить клапан А в положение "перепуск";
  - 4) закрыть клапан D и закрепить в держателе чистый фильтрующий материал, открыть клапан D;
  - 5) установить клапан А в положение "проба", и после того как через фильтр пройдет 50 кг воздуха на квадратный метр фильтра, вновь установить клапан А в положение "перепуск";
  - 6) измерить пятно на фильтре и определить результирующее число дымности SN' в соответствии с тем, как описано в п. 3 данного добавления;
  - 7) если это значение SN' превышает 3, система очищается (или, другими словами, ректифицируется), пока не будет получено значение меньше 3.

Система не используется, пока не будут выполнены требования проверки на утечку и чистоту.

## 2.5.3 Измерение характеристик дыма

Измерения характеристик дыма производятся независимо от других измерений, за исключением случаев, когда полученные в результате этих измерений величины значительно меньше предельных значений или когда можно доказать достоверность значений дыма, полученных при одновременных измерениях, и в этих случаях измерение характеристик дыма может осуществляться одновременно с измерением эмиссии газообразных веществ. Во всех случаях строго соблюдаются изложенные в п. 2.2.2 требования к радиусам изгибов линий подачи проб. Создается также подсистема анализа дыма, отвечающая техническим требованиям, изложенным в п. 2.3. В соответствии с рис. А2-1 при получении образцов загрязненных фильтров выполняются следующие основные операции:

- a) во время работы двигателя, когда пробоотборник установлен в нужном положении, клапан А не закрывается, иначе могут создаться условия для образования в линиях твердых частиц;
- b) установить клапан А в положение "перепуск", закрыть клапан D и закрепить в держателе чистый фильтр. Продолжать пропускать пробу выхлопных газов в положении "перепуск" в течение по крайней мере 5 мин, пока двигатель работает в требуемых эксплуатационных условиях или в условиях, близких к ним; клапан С устанавливается в положение, соответствующее расходу  $14 \text{ л/мин} \pm 0,5 \text{ л/мин}$ ;
- c) открыть клапан D и установить клапан А в положение "проба", а клапан В снова установить в положение, соответствующее расходу, указанному в подпункте b);

- d) установить клапан А в положение "перепуск" и закрыть клапан D; закрепить в держателе чистый фильтр;
- e) когда условия работы двигателя стабилизируются, пропускать поток отобранных газов в течение 1 мин по системе при положениях клапанов, указанных в подпункте d);
- f) открыть клапан D, установить клапан А в положение "проба", в случае необходимости вновь установить величины расхода и пропускать объем отобранных газов (см. подпункт h)) по системе до тех пор, пока клапан А не будет снова установлен в положение "перепуск", а затем закрыть клапан D;
- g) снять загрязненный фильтр для анализа и закрепить в держателе чистый фильтр;
- h) объемы отобранных проб находятся в интервале 12–21 кг выхлопных газов на квадратный метр фильтра и включают образцы, объемы которых составляют 16,2 кг выхлопных газов на квадратный метр фильтра или же превышают или не достигают этой величины. Для каждого режима работы двигателя число используемых проб составляет не менее 3; в случае необходимости указанные в подпунктах e)–g) операции повторяются.

### 3. РАСЧЕТ ЧИСЛА ДЫМНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЯ

3.1 Полученные в соответствии с положениями п. 2.5.3 образцы загрязненных фильтров анализируются с помощью рефлектометра, как указано в п. 2.3. В качестве подкладки используется материал черного цвета с абсолютной отражательной способностью менее 3 %. Величины абсолютной отражательной способности каждого загрязняющего фильтра  $R_s$  используются для расчета уменьшения коэффициента отражения по следующей формуле:

$$SN' = 100(1 - R_s/R_w),$$

где  $R_w$  – абсолютная отражательная способность материала чистого фильтра.

3.2 Массы различных проб рассчитываются по формуле

$$W = 0,348 PV/T \times 10^{-2} \text{ (кг)},$$

где  $P$  и  $T$  – соответственно давление газов в пробе в паскалях и температура в градусах Кельвина, измеренные непосредственно перед расходомером, а  $V$  – измеренный объем пробы в кубических метрах.

3.3 Для каждого режима работы двигателя и в случае, если объемы пробы отличаются от стандартного значения в большую или меньшую сторону, на график зависимости  $SN'$  от  $\log W/A$  (где  $A$  – площадь загрязненного фильтра в  $m^2$ ) наносятся различные значения  $SN'$  и  $W$ . Используя линейную зависимость, полученную методом наименьших квадратов, вычисляется значение  $SN'$  для  $W/A = 16,2 \text{ кг}/m^2$ , и это значение сообщается в качестве числа дымности ( $SN$ ) для данного режима работы двигателя. Если используются пробы только стандартных размеров, сообщаемое значение  $SN$  будет представлять среднее арифметическое различных отдельных значений  $SN'$ .

### 4. СООБЩЕНИЕ ДАННЫХ ПОЛНОМОЧНОМУ СЕРТИФИЦИРУЮЩЕМУ ОРГАНУ

Результаты измерения сообщаются полномочному сертифицирующему органу. По каждому испытанию сообщаются следующие дополнительные данные:

- a) температура газов в пробе;
- b) давление газов в пробе;

- с) фактический объем пробы для условий отбора этих проб;
  - d) фактический расход отобранных газов для условий отбора проб;
  - е) подтверждение о проведении проверок на утечку и чистоту (см. п. 2.5.2).
- 
-





## ДОБАВЛЕНИЕ 3. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

### 1. ВВЕДЕНИЕ

*Примечание. Определенные в настоящем добавлении правила касаются получения представительных проб выхлопных газов и их подачи в систему измерения эмиссии, в которой они анализируются. Данные правила не применимы к двигателям с форсажной камерой. Предлагаемые методы являются характерными для наиболее совершенной, легкодоступной и широко применяемой современной практики.*

Использование любых процедур, эквивалентных изложенным в добавлении, разрешается после представления предварительной заявки и ее утверждения полномочным сертифицирующим органом.

### 2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В тех случаях, когда в настоящем добавлении употребляются приведенные ниже термины, они имеют следующие значения:

**Дрейф нуля.** Зависящее от времени отклонение выходного сигнала прибора от заданного нулевого значения при прохождении через него газа, не содержащего компонента, подлежащего измерению.

**Интерференция.** Реакция прибора на присутствие других компонентов, не являющихся газом (или паром), характеристики которого подлежат измерению.

**Концентрация газа.** Объемная доля представляющего интерес компонента в газовой смеси (выражается в процентах от объема или миллионных частях).

**Нерассеивающий инфракрасный анализатор.** Прибор, который с помощью поглощения энергии инфракрасного излучения осуществляет селективное измерение конкретных компонентов.

**Нулевой газ.** Газ, подлежащий использованию при установке прибора в нулевое или нейтральное положение.

**Отношение воздуха к топливу.** Отношение массового расхода воздуха, проходящего через горячую секцию двигателя, к массовому расходу топлива в двигателе.

**Пламенионизационный детектор.** Детектор ионизации диффузионного водородно-воздушного пламени, выдающий сигнал, номинально пропорциональный количеству углеводородов, поступающих в это пламя в единицу времени (считается, что сигнал определяется числом поступающих в пламя атомов углерода).

**Повторяемость.** Точность, с которой измерение характеристик данного неизменяемого образца может быть воспроизведено при повторных измерениях через короткие интервалы времени без подстройки прибора.

**Разрешающая способность.** Наименьшее изменение результатов замера, которое может быть обнаружено.

**Реакция прибора.** Изменение выходного сигнала прибора в зависимости от изменения концентрации газов в пробе.

**Стабильность.** Точность, с которой повторные измерения по данному неизменяемому образцу могут быть выдержаны в течение определенного промежутка времени.

**Тарировочный газ.** Эталонный газ, состав которого известен с высокой точностью, предназначенный для использования при регулировке, настройке и периодических проверках приборов.

**Точность.** Степень приближения измеренной величины к истинной величине, определенной независимо от этого измерения.

**Частей на миллион (ppm).** Единица объемной концентрации газа на миллионную часть объема газовой смеси, в состав которой входит этот газ.

**Частей на миллион частей углерода (ppmC).** Молярная доля углеводорода, умноженная на  $10^6$  и измеренная на основе эквивалентности метана. Таким образом, 1 ppm метана обозначается как 1 ppmC. Для преобразования концентрации любого углеводорода, выраженной в ppm, в эквивалентное значение, выраженное в ppmC, нужно умножить концентрацию газа, выраженную в ppm, на число атомов углерода, входящих в состав молекулы газа. Например, 1 ppm пропана соответствует 3 ppmC углеводорода, 1 ppm гексана – 6 ppmC углеводорода.

**Шум.** Случайные отклонения данных на выходе прибора, не связанные с характеристиками пробы, измеряемой этим прибором; их следует отличать от характеристики смещения.

**Эталонный газ.** Смесь газов заданного известного состава, которая используется в качестве основы для расшифровки показаний прибора в единицах концентрации газа, измеряемого этим прибором.

### 3. ТРЕБУЕМЫЕ ДАННЫЕ

#### 3.1 Эмиссия газообразных веществ

Определяется концентрация эмиссии следующих газов:

- a) углеводородов (HC): оценка всех соединений углеводорода, присутствующих в выхлопных газах;
- b) окиси углерода (CO);
- c) двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>).

*Примечание. CO<sub>2</sub> не является регулируемым видом эмиссии двигателя, однако определение концентрации CO<sub>2</sub> необходимо для целей расчета и проверки;*

- d) окислов азота (NO<sub>x</sub>): оценка суммы двух окислов – окиси азота (NO) и двуокиси азота (NO<sub>2</sub>);
- e) окиси азота (NO).

### 3.2 Прочая информация

Для нормализации данных измерения характеристик эмиссии и для количественного выражения испытываемых характеристик двигателя требуется следующая дополнительная информация:

- a) температура на входе;
- b) влажность на входе;
- c) атмосферное давление;
- d) соотношение водород/углерод в топливе;
- e) другие требуемые параметры двигателя (например тяга, число оборотов ротора, температуры газов в турбине и расход воздуха, проходящего через газогенератор).

В соответствии с дополнением F к настоящему добавлению эти данные получаются либо путем прямого измерения, либо путем расчета.

## 4. ОБЩАЯ КОМПОНОВКА СИСТЕМЫ

Для очистки отобранных выхлопных газов, подаваемых к приборам для анализа на содержание окислов азота и углеводородов, не используются обезвоживатели, осушители, водоотделители или аналогичное оборудование. Требования к различным подсистемам, являющимся компонентами этой системы, приводятся в разделе 5; ниже приводится перечень некоторых ограничений и вариантов.

- a) Предполагается, что в состав каждой отдельной подсистемы входят необходимые устройства для регулирования потока, кондиционирования и измерения.
- b) Необходимость установки откачивающего насоса и (или) насоса для подачи горячих проб будет зависеть от способности удовлетворять требованиям в отношении времени подачи проб и массового расхода отобранных газов в анализирующей их подсистеме. В свою очередь, это зависит от давления подачи отобранных выхлопных газов и потерь в линиях. Считается, что в основном эти насосы потребуются при определенных условиях испытания двигателя.
- c) В случае необходимости местоположение насоса для подачи горячих проб по отношению к подсистемам анализа может быть изменено. (Например, некоторые анализаторы НС включают в себя насосы для подачи горячих проб и, следовательно, могут считаться пригодными для их установки перед насосом для подачи горячих проб данной системы).

*Примечание. На рис. А3-1 изображена схема системы отбора и анализа проб выхлопных газов, которая характеризует основные требования к испытаниям, связанным с измерением характеристик эмиссии.*

## 5. ОПИСАНИЕ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

*Примечание. Ниже приводятся общее описание и характеристики основных элементов системы измерения характеристик выхлопных газов двигателей. Более подробное описание, когда это необходимо, дается в дополнениях А, В и С к настоящему добавлению.*

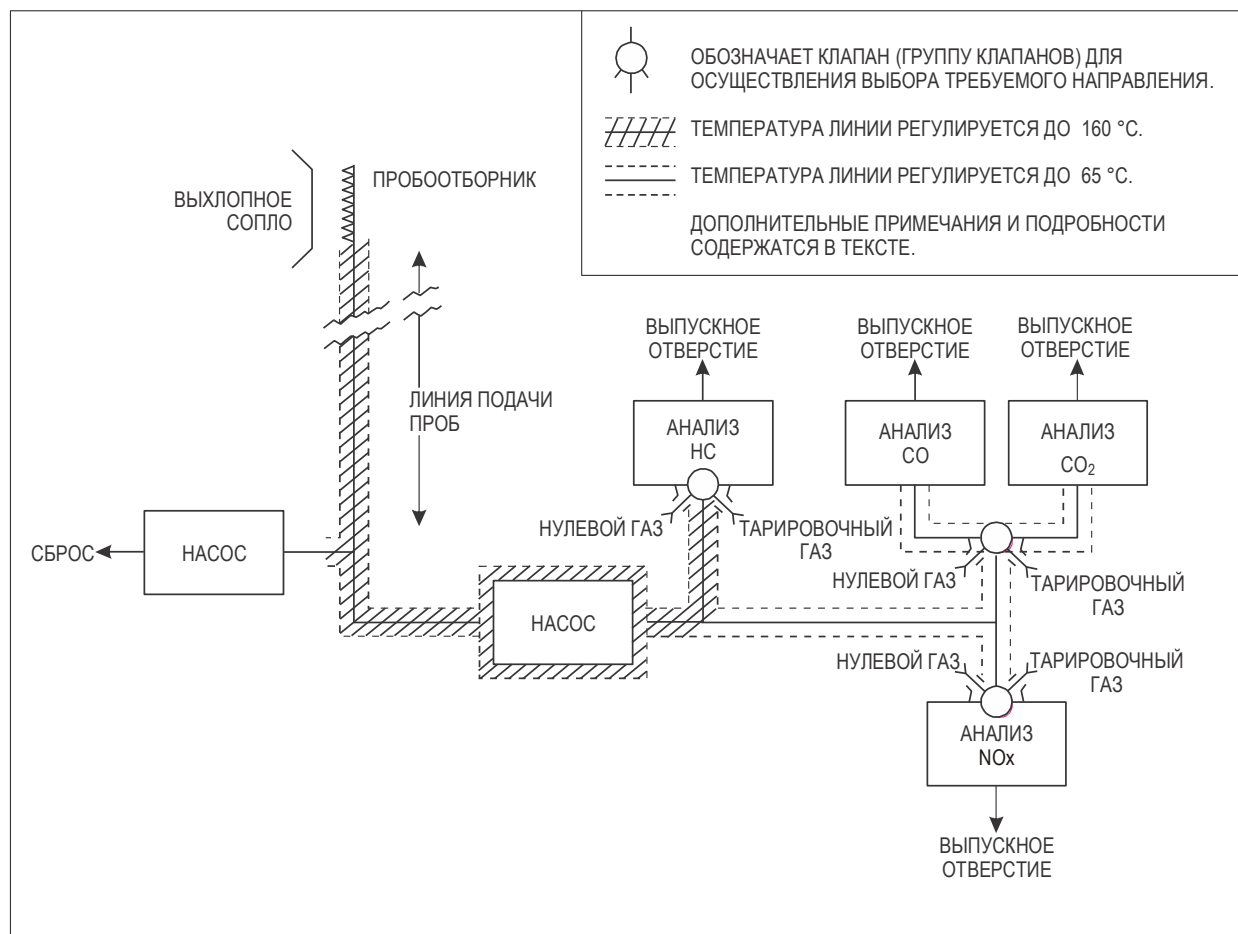


Рис. А3-1. Схема системы отбора и анализа проб

## 5.1 Система отбора проб

### 5.1.1 Прободоотборник

Прободоотборник отвечает следующим требованиям:

- Материалом прободоотборника, в контакт с которым вступает проба эмиссии выхлопных газов, является нержавеющая сталь или другой химически неактивный материал.
- Если используется прободоотборник с несколькими отверстиями для отбора проб, все отверстия для отбора проб имеют равный диаметр. Прободоотборник конструируется таким образом, чтобы по крайней мере 80 % падения давления проходящего через него потока приходилось на отверстия.
- Число точек для отбора проб составляет не менее 12.

- d) Плоскость отбора проб располагается настолько близко к плоскости выхлопного сопла двигателя, насколько это позволяют характеристики двигателя, однако в любом случае она находится в пределах 0,5 диаметра сопла от выходной плоскости.
- e) Подающий заявку представляет полномочному сертифицирующему органу, с помощью подробных эюр распределения концентраций, доказательства того, что предлагаемая им конструкция и местоположение пробоотборника обеспечат получение представительных проб для каждой из установленных величин тяги.

#### 5.1.2 Линии отбора проб

Пробы подаются из пробоотборника в анализаторы по линии с внутренним диаметром 4,0–8,5 мм по кратчайшему маршруту, используя такое значение расхода, чтобы время подачи составляло менее 10 с. Температура в этой линии поддерживается в пределах  $160\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , за исключением: а) расстояния, необходимого для охлаждения газа с уровня температуры выхлопных газов до температуры регулирования в линии, и б) линии, подающей пробы в анализаторы  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$ . В данной линии поддерживается температура  $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Когда отбор проб осуществляется с целью измерения составляющих  $\text{HC}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$ , линия изготавливается из нержавеющей стали или шлифованного наполненного углеродом материала ПТФЭ.

### 5.2 Анализатор углеводородов (HC)

Измерение общего содержания углеводородов в пробе проводится с помощью анализатора, в котором между электродами подогретого пламенионизационного детектора (FID) проходит ионизационный ток, пропорциональный массовому расходу углеводородов, вступающих в процесс горения водорода. Предполагается, что анализатор включает в себя компоненты, предназначенные для регулирования температуры и расхода газов, содержащихся в пробах перепуска газов, газового топлива и охлаждающих газов, и что он обеспечивает проведение эффективных контрольных тарировок диапазона и нуля.

*Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении А к данному добавлению.*

### 5.3 Анализаторы окиси и двуокиси углерода ( $\text{CO}$ и $\text{CO}_2$ )

Для измерения этих компонентов используются нерассеивающие инфракрасные анализаторы, конструкция которых предусматривает использование принципа дифференциального поглощения энергии в параллельных элементах, стандартного и отобранного газов, причем элемент или группа элементов для каждого из этих компонентов газа соответствующим образом сенсibilизированы. Предусматривается выполнение этой анализирующей подсистемой всех необходимых функций, связанных с управлением и регулированием потоков газа, содержащихся в пробах, а также потоков нулевого газа и поперечных потоков. Регулирование температуры отвечает требованиям независимо от того, в каком состоянии измеряется проба (влажном или сухом).

*Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении В к данному добавлению.*

### 5.4 Анализатор окислов азота ( $\text{NO}_x$ )

Измерение газовой концентрации окиси азота ( $\text{NO}$ ) проводится по методу хемилюминесценции, в соответствии с которым мера интенсивности излучения вступающего в реакцию  $\text{NO}$  с добавлением  $\text{O}_3$  соответствует мере газовой концентрации  $\text{NO}$ . До проведения измерения необходимо преобразовать компонент  $\text{NO}_2$  в  $\text{NO}$  в конвертере, обладающем нужной эффективностью. Результирующая система измерения  $\text{NO}_x$  включает необходимые устройства для регулирования тока, температуры и других параметров и обеспечивает возможность выполнения обычной процедуры тарировки нуля и диапазона измерения, а также проведения проверок эффективности конвертера.

*Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении С к данному добавлению.*

## 6. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

### 6.1 Работа двигателя

6.1.1 Двигатель работает на стационарном испытательном стенде, который соответствующим образом оборудован для проведения высокоточных испытаний.

6.1.2 Испытания с целью измерения параметров эмиссии проводятся при величинах тяги, определенных полномочным сертифицирующим органом. Обеспечивается стабильная работа двигателя при каждой величине тяги.

### 6.2 Основная тарировка приборов

*Примечание. Основная цель такой тарировки заключается в том, чтобы убедиться в стабильности и линейности их характеристик.*

6.2.1 Подающий заявку на проведение испытаний представляет полномочному сертифицирующему органу доказательства того, что аналитическая система соответствующим образом тарирована ко времени проведения испытаний.

6.2.2 Что касается анализатора углеводородов, то при этой тарировке проверяется, находятся ли показания детектора кислорода и избирательные показания детектора углеводородов в пределах, установленных в дополнении А к данному добавлению. Коэффициент полезного действия (кпд) конвертора  $\text{NO}_2/\text{NO}$  проверяется также на соответствие техническим требованиям дополнения С к данному добавлению.

6.2.3 При проверке характеристик каждого анализатора применяют указанную ниже методику (с использованием тарировочного и испытываемого газов, как указано в дополнении D к данному добавлению):

- a) ввести нулевой газ и установить прибор на ноль, записав соответствующим образом его показания;
- b) для каждого эксплуатационного диапазона ввести тарировочный газ, газовая концентрация которого соответствует (номинально) отклонению стрелки прибора на 90 % всего диапазона измерения прибора (FSD); соответствующим образом отрегулировать коэффициент усиления прибора и записать его показания;
- c) ввести тарировочные газы, газовая концентрация которых приблизительно соответствует 30, 60 и 90 % величины FSD, и записать показания анализатора;
- d) провести прямую линию наименьших квадратов через точки, которые соответствуют газовой концентрации, равной 0, 30, 60 и 90 %. Если это признается необходимым, для основной модели анализатора CO и (или) CO<sub>2</sub> без линеаризации выхода проводится кривая наименьших квадратов соответствующей математической формулы с использованием дополнительных тарировочных точек. В случае, если какая-либо точка отклоняется более чем на 2 % от значения всего диапазона измерения прибора (или  $\pm 1 \text{ ppm}^*$ , в зависимости от того, какая величина больше), для эксплуатационного применения следует подготовить тарировочную кривую.

---

\* Кроме анализатора CO<sub>2</sub>, для которого это значение составляет  $\pm 100 \text{ ppm}$ .

### 6.3 Пользование приборами

6.3.1 Измерения не проводятся до тех пор, пока все приборы и линии подачи проб не подогреты и не стабилизированы, а также не выполнены следующие проверки:

- a) проверка на утечку: до проведения серий испытаний система проверяется на утечку путем изоляции пробоотборника и анализаторов, подсоединения и включения вакуумного насоса, который по своим характеристикам эквивалентен насосу, используемому в системе измерения уровней дыма, с целью проверки того, что величина утечки в системе составляет менее 0,4 л/мин при условиях, соответствующих нормальным температуре и давлению;
- b) проверка на чистоту: изолировать систему отбора проб газа от пробоотборника и подсоединить конец линии отбора проб к источнику нулевого газа. Подогреть систему до рабочей температуры, необходимой для проведения измерений содержания углеводородов. Включить насос отбора проб и установить величину расхода, равную той, которая используется при испытаниях эмиссии двигателей. Зарегистрировать показание анализатора содержания углеводородов. Это показание не превышает 1 % от уровня эмиссии двигателя на режиме малого газа или 1 ppm (выраженных через содержание метана), в зависимости от того, какая величина больше.

*Примечание 1. Для того чтобы исключить значительное загрязнение линий подачи проб, хорошей практикой является обратная продувка этих линий во время испытания двигателя, пока зонд находится в выхлопном сопле двигателя, но характеристики эмиссии не измеряются.*

*Примечание 2. Полезно также контролировать качество всасываемого воздуха в начале и в конце испытаний, а также по крайней мере через каждый час в ходе испытаний. Если уровни считаются значительными, то их необходимо учитывать.*

6.3.2 Эксплуатационные измерения производятся следующим образом:

- a) с помощью соответствующего нулевого газа произвести все необходимые виды настройки приборов;
- b) ввести тарировочный газ, газовая концентрация которого соответствует (номинально) 90 % величины FSD для всех подлежащих использованию интервалов измерения, и соответствующим образом установить и записать значение коэффициента усиления;
- c) после того как работа двигателя стабилизируется на требуемом режиме тяги, продолжить испытания двигателя и наблюдение за газовой концентрацией загрязняющих веществ до тех пор, пока не будут получены стабильные показания, которые регистрируются;
- d) в конце испытания, а также во время испытаний через интервалы времени, не превышающие 1 ч, произвести повторную проверку нулевых и тарировочных точек. В случае, если какая-либо точка сместилась более чем на  $\pm 2$  % от диапазона FSD, прибор настраивается вновь в установленных пределах и испытание повторяется.

### 6.4 Проверка баланса углерода

Каждое испытание должно включать проверку отношения воздуха к топливу, рассчитанного по объединенному образцу общей газовой концентрации углерода, за исключением концентрации дыма, которая должна совпадать с точностью до  $\pm 15$  % с данными расчета отношения воздуха к топливу для режима руления/малого газа и с точностью  $\pm 10$  % для всех остальных режимов работы двигателя (см. п. 7.1.2).

## 7. РАСЧЕТЫ

### 7.1 Эмиссия газообразных веществ

#### 7.1.1 Общие положения

В результате проведения аналитических измерений в соответствующих анализаторах в диапазоне температур на входе в камеру сгорания ( $T_B$ ), охватывающем четыре эксплуатационных режима цикла ЛТО, получаются значения газовой концентрации различных видов эмиссии газообразных веществ. Используя методику расчета, приводимую в п. 7.1.2, или альтернативные методики, определенные в дополнении Е к настоящему добавлению, определяются замеренные индексы эмиссии (EI) для каждого вида газообразной эмиссии. Для учета отклонений от стандартных атмосферных условий применяются поправки, предусмотренные п. 7.1.3. Просьба иметь в виду, что в соответствующих случаях эти поправки могут также использоваться для учета отклонений испытываемого двигателя от исходного стандартного двигателя (см. п. 1 f) добавления 6). Затем, используя температуру на входе в камеру сгорания ( $T_B$ ) в качестве коррелирующего параметра, на основе процедур, предусмотренных п. 7.2, определяются индексы эмиссии и расход топлива, соответствующие работе исходного стандартного двигателя в условиях стандартного дня на четырех эксплуатационных режимах цикла ЛТО.

#### 7.1.2 Основные параметры

$$EI_p \text{ (индекс эмиссии для компонента } p) = \frac{\text{масса образующего компонента } p \text{ в г}}{\text{масса использованного топлива в кг}};$$

$$EI(CO) = \left( \frac{[CO]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left( \frac{10^3 M_{CO}}{M_C + (n/m)M_H} \right) \left( 1 + [CO_2] (P_0/m) \right)$$

$$EI(HC) = \left( \frac{[HC]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left( \frac{10^3 M_{HC}}{M_C + (n/m)M_H} \right) \left( 1 + [CO_2] (P_0/m) \right)$$

$$EI(NO_x) \text{ как } NO_2 = \left( \frac{[NO_x]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left( \frac{10^3 M_{NO_2}}{M_C + (n/m)M_H} \right) \left( 1 + [CO_2] (P_0/m) \right)$$

$$\text{Отношение воздуха к топливу} = (P_0 / m) \left( \frac{M_{\text{ВОЗДУХА}}}{M_C + (n/m)M_H} \right),$$

где

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

и

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x]) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]};$$

$M_{\text{ВОЗДУХА}}$  – молекулярная масса сухого воздуха равна 28,966 г или, где уместно,  $(32 [O_2]_b + 28,156 4 [N_2]_b + 44,011 [CO_2]_b)$  г;



- $M_{CO}$  – молекулярная масса CO равна 28,011 г;  
 $M_{HC}$  – молекулярная масса углеводородов в выхлопной пробе, принимаемая как  $CH_4 = 16,043$  г;  
 $M_{NO_2}$  – молекулярная масса  $NO_2$  равна 46,008 г;  
 $M_C$  – масса атома углерода равна 12,011 г;  
 $M_H$  – масса атома водорода равна 1,008 г;  
 $[O_2]_b$  – газовая концентрация  $O_2$  в сухом воздухе по объему равна 0,209 5;  
 $[N_2]_b$  – газовая концентрация  $N_2$  + редкие газы в сухом воздухе по объему равна 0,790 2;  
 $[CO_2]_b$  – газовая концентрация  $CO_2$  в сухом воздухе по объему равна 0,000 3;  
 $[HC]$  – средняя газовая концентрация выхлопных углеводородов (объем/объем во влажных условиях), выраженных как углерод;  
 $[CO]$  – средняя газовая концентрация CO (объем/объем во влажных условиях) в выхлопной пробе;  
 $[CO_2]$  – средняя газовая концентрация  $CO_2$  (объем/объем во влажных условиях) в выхлопной пробе;  
 $[NOx]$  – средняя газовая концентрация NOx (объем/объем во влажных условиях) в выхлопной пробе равна  $[NO] + [NO_2]$ ;  
 $[NO]$  – средняя газовая концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем во влажных условиях);  
 $[NO_2]$  – средняя газовая концентрация  $NO_2$  в выхлопной пробе (объем/объем во влажных условиях)

$$= \frac{([NOx]_c - [NO])}{\eta}$$

- $[NOx]_c$  – средняя газовая концентрация NO в выхлопной пробе после прохождения через конвертер  $NO_2/NO$  (объем/объем во влажных условиях);  
 $\eta$  – КПД конвертера  $NO_2/NO$ ;  
 $h_{vol}$  – влажность окружающего воздуха (объем воды/объем сухого воздуха);  
 $m$  – количество атомов C в характеристической молекуле топлива;  
 $n$  – количество атомов H в характеристической молекуле топлива;  
 $x$  – количество атомов C в характеристической молекуле выхлопных углеводородов;  
 $y$  – количество атомов H в характеристической молекуле выхлопных углеводородов.

Величина отношения атома водорода к атому углерода используемого топлива ( $n/m$ ) определяется посредством анализа типа топлива. Влажность окружающего воздуха,  $h_{vol}$ , измеряется для каждого конкретного условия. При отсутствии доказательств противного в отношении характеристики ( $x$ ,  $y$ ) выхлопных углеводородов используются значения  $x = 1$ ,  $y = 4$ . Если в измерениях должны использоваться сухие или полусухие CO и  $CO_2$ , то значения их газовой концентрации приводятся сначала к эквивалентным значениям концентрации влажных CO и  $CO_2$ , как показано в дополнении Е к данному добавлению, в котором также содержатся формулы внесения поправок на интерференцию, для использования по мере необходимости.

## 7.1.3 Приведение индексов эмиссии к стандартным условиям

7.1.3.1 С целью учета отклонений фактической температуры и давления воздуха на входе испытываемого двигателя от стандартных атмосферных условий МСА на уровне моря, вносятся поправки в измеряемые индексы эмиссии для всех загрязняющих веществ при всех соответствующих режимах работы двигателя. При необходимости эти поправки могут также использоваться для учета отклонений испытываемого двигателя от исходного стандартного двигателя (см. п. 1 f) добавления 6). Стандартное значение влажности равно 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха. Следовательно, EI приведенный =  $K \times EI$  измеренный,

где общее выражение для  $K$ :

$$K = (P_{Bст}/P_B)^a \times (FAR_{ст}/FAR_B)^b \times \exp([T_{Bст} - T_B]/c) \times \exp(d[h_{mass} - 0,00634]);$$

$P_B$  – измеренное давление на входе в камеру сгорания;

$T_B$  – измеренная температура на входе в камеру сгорания;

$FAR_B$  – отношение топлива к воздуху в камере сгорания;

$h_{mass}$  – влажность окружающего воздуха (кг воды/кг сухого воздуха);

$P_{ст}$  – давление на уровне моря МСА;

$T_{ст}$  – температура на уровне моря МСА;

$P_{Bст}$  – давление на входе в камеру сгорания испытываемого двигателя (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя), связанное с  $T_B$  при условиях МСА на уровне моря;

$T_{Bст}$  – температура на входе в камеру сгорания испытываемого двигателя при условиях МСА на уровне моря (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя). Эта температура установлена относительно уровня тяги, определенного для каждого режима работы двигателя;

$FAR_{ст}$  – отношение топлива к воздуху в камере сгорания испытываемого двигателя при условиях МСА на уровне моря (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя);

$a, b, c, d$  – расчетные постоянные, которые могут быть различными для каждого загрязнителя и каждого типа двигателя.

Параметры на входе в камеру сгорания желательно измерять, однако их можно и вычислять, исходя из окружающих условий, с помощью соответствующих формул.

7.1.3.2 Использование рекомендуемой в п. 7.2 методики нанесения кривой по точкам в целях установления соотношения индексов эмиссии к температуре на входе в камеру сгорания эффективно исключает выражение  $\exp((T_{Bст} - T_B)/c)$  из общего уравнения, и в большинстве случаев выражение  $(FAR_{ст}/FAR_B)$  может считаться единицей. Для индексов эмиссии СО и НС многие органы, проводящие испытания, определили, что член, учитывающий влажность, достаточно близок к единице и его можно исключить из общего выражения, а также что показатель степени выражения  $(P_{Bст}/P_B)$  близок к единице.

Таким образом,

$EI(\text{CO})$  приведенный =  $EI$ , полученный из кривой зависимости  $(P_B/P_{\text{вст}}) \times EI(\text{CO})$  от  $T_B$ ;

$EI(\text{HC})$  приведенный =  $EI$ , полученный из кривой зависимости  $(P_B/P_{\text{вст}}) \times EI(\text{HC})$  от  $T_B$ ;

$EI(\text{NOx})$  приведенный =  $EI$ , полученный из кривой зависимости  $EI(\text{NOx}) \times (P_{\text{вст}}/P_B)^{0.5} \times \exp(19 [h_{\text{mass}} - 0,00634])$  от  $T_B$ .

В том случае, когда данный рекомендуемый метод коррекции индексов эмиссии CO и HC не обеспечивает удовлетворительной корреляции, может применяться альтернативный метод с использованием параметров, полученных в отдельных испытаниях.

Любые другие применяемые методы внесения поправок в индексы эмиссии CO, HC и NOx утверждаются полномочным сертифицирующим органом.

## 7.2 Величины, входящие в контрольный параметр

$(D_p, F_{oo}, \pi)$

### 7.2.1 Определения

$D_p$  – масса любого газообразного загрязняющего вещества, выделяемого в атмосферу в течение стандартного цикла эмиссии при посадке и взлете.

$F_{oo}$  – расчетная тяга (см. определения в главе 1 части I).

$F_n$  – тяга на эксплуатационном режиме цикла LTO,  $n$ , (кН).

$W_f$  – массовый расход топлива исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря (кг/с).

$W_{fn}$  – массовый расход топлива исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря на эксплуатационном режиме цикла LTO,  $n$ .

$\pi$  – отношение средней величины полного давления в выходной плоскости последней ступени компрессора к средней величине полного давления во входной плоскости первой ступени компрессора в момент, когда двигатель развивает номинальную взлетную тягу в статических условиях МСА на уровне моря.

7.2.2 Индексы эмиссии ( $EI_n$ ) для каждого загрязнителя с внесенными поправками относительно стандартных атмосферных условий и, если необходимо, относительно исходного стандартного двигателя (приведенные  $EI_n$ ) получают для каждого эксплуатационного режима цикла LTO. В целях определения режима малого газа требуется проводить испытания по крайней мере в трех точках. Для каждого вида газообразной эмиссии в стандартных атмосферных условиях определяются следующие зависимости:

a) между  $EI$  (приведенными) и  $T_B$ ;

b) между  $W_f$  и  $T_B$ ;

c) между  $F$  и  $T_B$ .

*Примечание 1. Для примера эти зависимости приводятся на рис. А3-2 a), b) и c).*

*Примечание 2. Зависимости b) и c) могут быть определены непосредственно на основе данных испытаний двигателя или могут быть получены с помощью апробированной модели характеристик двигателя.*

7.2.2.1 Под исходным двигателем понимается двигатель, в значительной степени соответствующий стандарту на производство типового двигателя, с полностью репрезентативными эксплуатационными и рабочими характеристиками.

7.2.2.2 Кроме того, изготовитель представляет полномочному сертифицирующему органу все необходимые данные о технических характеристиках двигателя с целью обоснования этих зависимостей и для условий МСА на уровне моря:

- а) расчетная тяга ( $F_{oo}$ );
- б) степень повышения давления в двигателе ( $\pi$ ) на максимальной номинальной тяге.

*Примечание. Эти данные приводятся на рис. А3-2 d).*

7.2.3 Общая процедура оценки EI (приведенных) для каждого вида газообразной эмиссии на четырех эксплуатационных режимах цикла LTO состоит в следующем:

- а) определить температуру на входе в камеру сгорания ( $T_B$ ) (рис. А3-2 с)) при значениях  $F_{in}$ , соответствующих четырем эксплуатационным режимам цикла LTO в стандартных атмосферных условиях;
- б) на основании характеристики EI (приведенных)/ $T_B$  (рис. А3-2 а)) определить величину EI<sub>n</sub>, соответствующую  $T_B$ ;
- с) на основании характеристики  $W_f/T_B$  (рис. А3-2 б)) определить величину  $W_{fn}$ , соответствующую  $T_B$ ;
- д) записать величины максимальной номинальной тяги и степени повышения давления для условий МСА. Соответственно они будут представлять собой  $F_{oo}$  и  $\pi$  (рис. А3-2 d));
- е) для каждого загрязняющего вещества рассчитать  $D_p = \Sigma (EI_n) (W_{fn}) (t)$ ,

где  $t$  — время работы на режиме на протяжении LTO (мин);

$W_{fn}$  — массовый расход топлива (кг/мин);

$\Sigma$  — означает совокупность режимов, используемых на протяжении исходного цикла LTO.

7.2.4 Несмотря на то что описанная выше методология является рекомендуемым методом, полномочный сертифицирующий орган может одобрить равноценную математическую процедуру, в которой употребляется математическое выражение, задающее изображенные кривые, если выражения получены путем использования принятой методики нанесения кривой по точкам.

### 7.3 Исключения из предлагаемых правил расчета

В тех случаях, когда конфигурация двигателя или наличие других внешних условий не позволяют использовать вышеуказанные правила, сертифицирующий орган после получения достаточных технических доказательств, подтверждающих получение равноценных результатов с помощью альтернативного правила, может его утвердить.

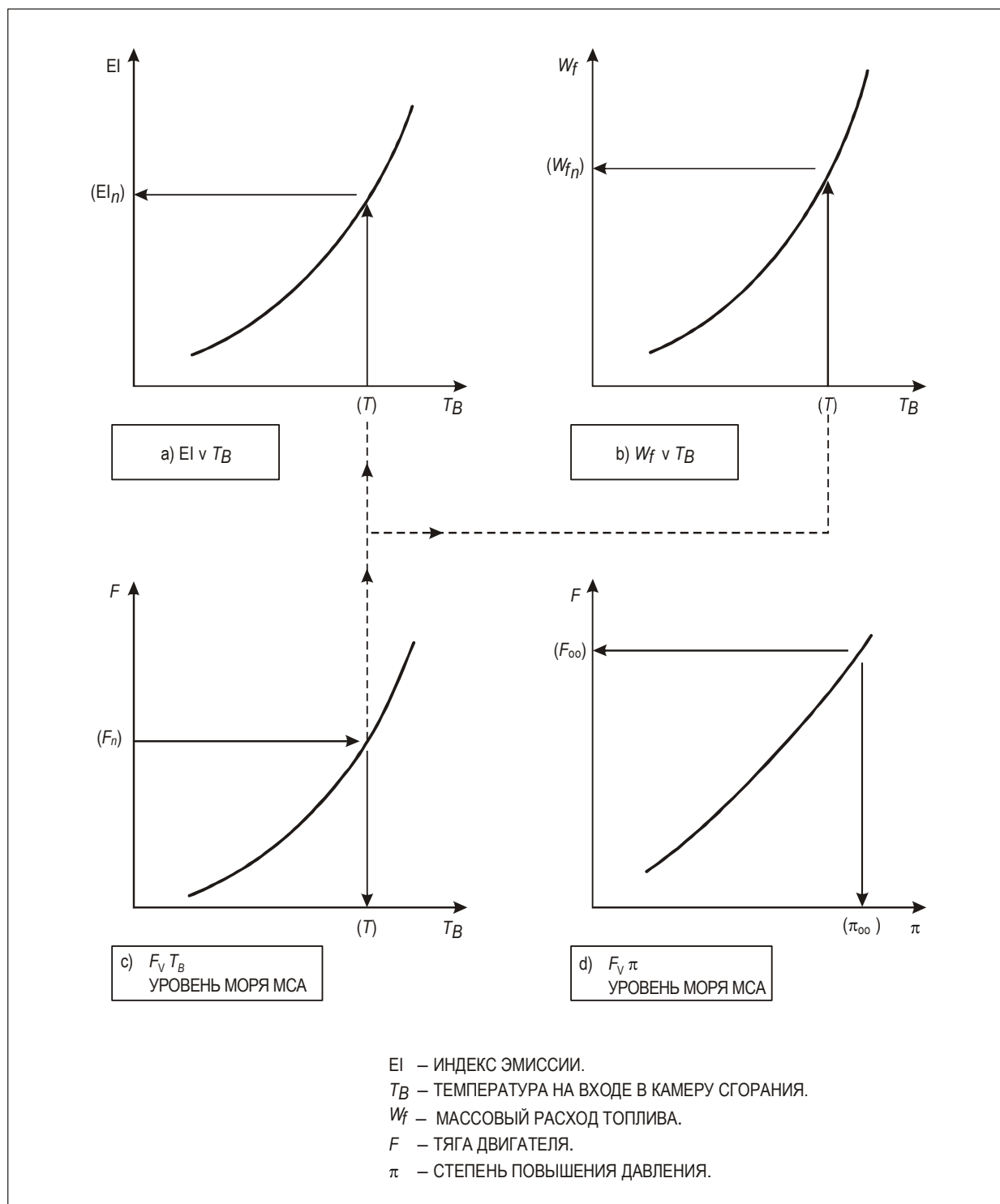


Рис. А3-2. Порядок расчета

-----



## ДОПОЛНЕНИЕ А К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ НС

*Примечание 1. Как указано в п. 5.2 добавления 3, чувствительным элементом этого анализатора является пламеионизационный детектор (FID), в котором весь объем пробы газа или его репрезентативная часть впрыскивается в водородное пламя. При соответствующем расположении электродов может быть определен ионизационный ток, который зависит от массового расхода углеводорода, вводимого в пламя. Этот ток, приведенный к соответствующему нулю, усиливается и ранжируется, чтобы получить результирующую характеристику, служащую мерой газовой концентрации углеводородов, выраженной через эквивалентное число ppmC.*

*Примечание 2. Информацию о тарифовочных и испытательных газах см. в дополнении D.*

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно большую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений учитывается возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

Подлежащий использованию прибор обеспечивает поддержание в нем заданной температуры детектора и частей, вступающих в непосредственный контакт с пробой газа не менее 150 °C. При условии, что чувствительность детектора является оптимальной и прибор в целом стабилизирован, к основным техническим характеристикам относятся следующие:

- a) *Полный диапазон измерения:* 0–5000 ppmC в соответствующих интервалах измерения.
- b) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 0,5 ppmC, в зависимости от того, что больше.
- c) *Повторяемость:* не хуже  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 0,5$  ppmC, в зависимости от того, что больше.
- d) *Стабильность:* не хуже  $\pm 2$  % используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 1,0$  ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- e) *Дрейф нуля:* менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 0,5$  ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- f) *Шумы:* 0,5 Гц и больше, менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерений прибора или  $\pm 0,5$  ppmC, в зависимости от того, что больше.
- g) *Время срабатывания:* не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.

- h) *Линейность*: зависимость выходного сигнала от состава воздушно-пропановой смеси является линейной в каждом интервале измерения в пределах  $\pm 2\%$  от диапазона измерений прибора, в противном случае вводятся тарировочные поправки.

## 2. СИНЕРГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

*Примечание. В процессе применения на точность измерения могут влиять два нижеуказанных аспекта характеристик:*

- a) *кислородный эффект (когда различные пропорции кислорода, присутствующего в пробе, обуславливают различные индикаторные газовые концентрации углеводорода при его постоянной фактической концентрации) и*
- b) *относительная реакция на углеводород (когда имеет место различная реакция на газовую концентрацию углеводородов в одной и той же пробе, выраженная через эквивалентное число ppmC, которое зависит от класса или примеси различных классов углеводородных соединений).*

Степень отмеченного выше влияния определяется, как указано ниже, и соответственно ограничивается:

*Реакция на кислород*: измерить реакцию на две следующие смеси пропана с газовой концентрацией приблизительно 500 ppmC, определенной с относительной точностью до  $\pm 1\%$ :

- a) смесь пропана с  $10\% \pm 1\% \text{ O}_2$  (остальное  $\text{N}_2$ );
- b) смесь пропана с  $21\% \pm 1\% \text{ O}_2$  (остальное  $\text{N}_2$ ).

Если  $R_1$  и  $R_2$  – соответствующие значения нормализованной реакции, то  $(R_1 - R_2)$  меньше  $3\% R_1$ .

*Дифференциальная реакция прибора на углеводород*: измерить реакцию прибора на четыре следующие смеси различных углеводородов в воздухе с газовой концентрацией приблизительно 500 ppmC, определенной с относительной точностью до  $\pm 1\%$ :

- a) пропан в нулевом воздухе,
- b) пропилен в нулевом воздухе,
- c) толуол в нулевом воздухе,
- d) n-гексан в нулевом воздухе.

Если  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  и  $R_d$  – соответствующие нормализованные реакции прибора на пропан, то  $(R_a - R_b)$ ,  $(R_a - R_c)$  и  $(R_a - R_d)$ , каждая разность в отдельности, меньше  $5\% R_a$ .

## 3. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАКЦИИ ДЕТЕКТОРА И РЕГУЛИРОВКА

3.1 Необходимо соблюдать инструкции изготовителя о порядке первоначальной настройки и о требуемом вспомогательном обслуживании и обеспечении и обеспечить стабилизацию прибора. Регулировка настройки включает в себя периодическую проверку установки на нуль и, при необходимости, введение поправок. Используя в качестве пробы воздушно-пропановую смесь с концентрацией пропана приблизительно 500 ppmC, для выбора



оптимального прибора определяется его реакция на изменение сначала расхода топлива, а затем, при расходе топлива, близком к оптимальному, реакция на изменение расхода воздуха в горелке. После этого определяются реакция прибора на кислород и дифференциальная реакция на углеводород, как указано выше.

3.2 Линейность каждого диапазона измерения анализатора проверяется с помощью проб воздушно-пропановой смеси, газовая концентрация которой соответствует отклонению стрелки прибора приблизительно на 30, 60 и 90 % всего диапазона измерения прибора. Максимальное отклонение любого из этих показаний от прямой линии наименьших квадратов, соединяющей данные точки с нулем, не превышает  $\pm 2$  % от всего диапазона измерения прибора. Если отклонение превышает эту величину, строится тарировочная кривая для эксплуатационного использования.

— — — — —



## ДОПОЛНЕНИЕ В К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРАМ СО И СО<sub>2</sub>

*Примечание 1. В п. 5.3 добавления 3 приводятся характеристики анализирующей подсистемы, подлежащей применению при отдельных измерениях газовой концентрации СО и СО<sub>2</sub> в пробе выхлопных газов. Пробы основаны на принципе недисперсионного поглощения инфракрасного излучения в параллельных элементах, заполненных эталонным и отобранным газом. Требуемые диапазоны чувствительности определяются путем использования ряда элементов, чувствительных к отобранному газу, путем изменения электронной схемы или обоими способами. Влияние газов, имеющих перекрывающиеся полосы поглощения, может быть сведено к минимуму с помощью газопоглощающих фильтров и (или) оптических фильтров (предпочтительнее с помощью последних).*

*Примечание 2. Информацию о тарировочных и испытательных газах см. в дополнении D.*

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно большую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений учитывается возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

К основным техническим характеристикам относятся следующие:

### *Анализатор СО*

- a) *Полный диапазон измерения:* 0–2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.
- b) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- c) *Повторяемость:* не хуже  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 2$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- d) *Стабильность:* не хуже  $\pm 2$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 2$  ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- e) *Дрейф нуля:* менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 2$  ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- f) *Шум:* 0,5 Гц и больше; менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 1$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- g) *Интерференция:* должна быть ограничена следующим образом в зависимости от зарегистрированной газовой концентрации СО:
  - 1) менее 500 ppm на каждый процент газовой концентрации этилена;
  - 2) менее 2 ppm на каждый процент газовой концентрации СО<sub>2</sub>;

- 3) менее 2 ppm на каждый процент концентрации водяных паров\*.

Если интерференция для CO<sub>2</sub> и (или) водяных паров не может быть ограничена в таких пределах, определяются, сообщаются и вводятся соответствующие поправочные коэффициенты.

*Примечание. В соответствии с общепринятой практикой рекомендуется применять такую методику коррекции во всех случаях.*

#### Анализатор CO<sub>2</sub>

- a) *Полный диапазон измерения:* 0–10 % в соответствующих интервалах измерения.
- b) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 100 ppm, в зависимости от того, что больше.
- c) *Повторяемость:* не хуже  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 100$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- d) *Стабильность:* не хуже  $\pm 2$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 100$  ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- e) *Дрейф нуля:* менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 100$  ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- f) *Шум:* 0,5 Гц и больше; менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 100$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- g) Проверяется влияние кислорода (O<sub>2</sub>) на чувствительность анализатора CO<sub>2</sub>. При изменении содержания O<sub>2</sub> от 0 до 21 % чувствительность при данной газовой концентрации CO<sub>2</sub> не должна меняться более чем на 2 % от показания. Если данное ограничение невозможно выполнить, то применяется соответствующий коэффициент коррекции.

*Примечание. В соответствии с общепринятой практикой рекомендуется применять такую методику коррекции во всех случаях.*

#### Анализаторы CO и CO<sub>2</sub>

- a) *Время срабатывания:* не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- b) *Температура пробы газа:* нормальным режимом работы является анализ пробы газа в необработанном "влажном" состоянии. Для этого необходимо, чтобы элемент, заполненный отобраным газом, и другие компоненты этой подсистемы, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, сохраняли постоянную температуру не менее 50 °С при стабильности  $\pm 2$  °С. Допускается измерение CO и CO<sub>2</sub> в сухом состоянии (с использованием соответствующих водоотделителей); в этом случае разрешается использовать ненагретые анализаторы, при этом нет необходимости определять пределы интерференции для паров H<sub>2</sub>O, однако требуется введение поправок на влажность окружающего воздуха и на содержание водяных паров в продуктах горения.

---

\* Нет необходимости применять в случае проведения измерений в "сухом" состоянии.

## с) Калибровочные кривые:

- 1) Анализаторы с линейными характеристиками выходного сигнала проверяются во всех рабочих диапазонах с использованием калибровочных газов при известных газовых концентрациях, составляющих примерно 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы. Максимальное отклонение характеристик срабатывания анализатора в любой из этих точек от прямой линии, подобранной по методу наименьших квадратов для этих точек и нулевого показания, не превышает  $\pm 2$  % от величины полной шкалы. Если это обеспечивается, то строится калибровочная кривая для практического применения.
- 2) Для анализаторов с нелинейными характеристиками выходного сигнала, а также для тех анализаторов, которые не отвечают приведенным выше требованиям к линейности, подготавливаются калибровочные кривые, построенные для всех рабочих диапазонов, с использованием калибровочных газов в известных газовых концентрациях, составляющих примерно 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы. При необходимости используются дополнительные смеси для точного определения вида кривой.

— — — — —



## ДОПОЛНЕНИЕ С К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ NO<sub>x</sub>

*Примечание. Информацию о тарифовочных и испытательных газах см. в дополнении D.*

1. Как указано в п. 5.4 добавления 3, измерение газовой концентрации окислов азота осуществляется по методу хемилюминесценции, с помощью которого определяется излучение, выделяемое при реакции NO и O<sub>3</sub>. Этот метод не обеспечивает точного определения NO<sub>2</sub>, поэтому, прежде чем измерить общее содержание NO<sub>x</sub>, пробу газа пропускают через конвертер, в котором NO<sub>2</sub> преобразуется в NO. Регистрируются как первоначальная, так и общая газовая концентрация NO<sub>x</sub>. Таким образом, содержание NO<sub>2</sub> определяется по разнице.

2. Подлежащий использованию прибор включает в себя все необходимые компоненты, регулирующие расход, например регуляторы, клапаны, расходомеры и т. д. Материалы, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, обладают способностью противостоять воздействию окислов азота, например нержавеющая сталь, стекло и т. д. Температура отобранных газов везде выдерживается в пределах, соответствующих местному давлению, с тем чтобы исключить возможность конденсации воды.

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно большую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений учитываются возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

3. К основным техническим характеристикам, определяемым для прибора, работающего при температуре окружающей среды, стабильной в пределах 2 °C, относятся следующие:

- a) *Полный диапазон измерения:* 0–2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.
- b) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- c) *Повторяемость:* не хуже ±1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ±1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- d) *Стабильность:* не хуже ±2 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ±1 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- e) *Дрейф нуля:* менее ±1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ±1 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- f) *Шум:* 0,5 Гц и больше; менее ±1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ±1 ppm в течение 2 ч, в зависимости от того, что больше.
- g) *Интерференция:* влияние для отобранных газов, содержащих CO<sub>2</sub> и водяные пары, ограничивается следующим образом:

- 1) менее 0,05 % от показания прибора на каждый процент газовой концентрации  $\text{CO}_2$ ;
- 2) менее 0,1 % от показания прибора на каждый процент газовой концентрации водяных паров.

Если интерференция для  $\text{CO}_2$  и (или) водяных паров не может быть ограничена в таких пределах, определяются, сообщаются и вводятся соответствующие поправочные коэффициенты.

*Примечание. В соответствии с общепринятой практикой рекомендуется применять такую методику коррекции во всех случаях.*

- h) *Время срабатывания:* не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- i) *Линейность:* не хуже  $\pm 2$  % всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 2$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- j) *Конвертер:* проектируется и эксплуатируется таким образом, что содержащаяся в пробе  $\text{NO}_2$  эффективно преобразуется в NO, первоначально содержащуюся в пробе.

Коэффициент полезного действия (кпд) конвертера составляет не менее 90 %. Это значение кпд используется для приведения количества  $\text{NO}_2$ , содержащегося в пробе (т. е.  $[\text{NOx}]_c - [\text{NO}]$ ), к тому количеству, которое было бы получено, если бы кпд не составлял 100 %.

\_\_\_\_\_



## ДОПОЛНЕНИЕ D К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТАРИРОВОЧНЫЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ГАЗЫ

**Таблица тарифовочных газов**

<i>Анализатор</i>	<i>Газ</i>	<i>Точность *</i>
HC	пропан в нулевом воздухе	$\pm 2 \%$ или $\pm 0,05 \text{ ppm}^{**}$
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> в нулевом воздухе	$\pm 2 \%$ или $\pm 100 \text{ ppm}^{**}$
CO	CO в нулевом воздухе	$\pm 2 \%$ или $\pm 2 \text{ ppm}^{**}$
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> в нулевом азоте	$\pm 2 \%$ или $\pm 1 \text{ ppm}^{**}$

\* Берется в 95 %-ном доверительном интервале.  
 \*\* В зависимости от того, что больше.

Вышеуказанные газы требуются для проведения обычной тарировки анализаторов во время нормального рабочего использования.

**Таблица испытательных газов**

<i>Анализатор</i>	<i>Газ</i>	<i>Точность *</i>
HC	пропан в (10+1) % O <sub>2</sub> в равновесии с нулевым азотом	$\pm 1 \%$
HC	пропан в (21+1) % O <sub>2</sub> в равновесии с нулевым азотом	$\pm 1 \%$
HC	пропилен в нулевом воздухе	$\pm 1 \%$
HC	толуол в нулевом воздухе	$\pm 1 \%$
HC	n-гексан в нулевом воздухе	$\pm 1 \%$
HC	пропан в нулевом воздухе	$\pm 1 \%$
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> в нулевом воздухе	$\pm 1 \%$
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> в нулевом азоте	$\pm 1 \%$
CO	CO в нулевом воздухе	$\pm 1 \%$
NO <sub>x</sub>	NO в нулевом азоте	$\pm 1 \%$

\* Берется в 95 %-ном доверительном интервале.

Вышеуказанные газы требуются для проведения испытаний, описываемых в дополнениях A, B и C.

Тарировочные газы окиси углерода и двуокиси углерода могут смешиваться отдельно или в виде двухкомпонентных смесей. Трехкомпонентные смеси окиси углерода, двуокиси углерода и пропана в нулевом воздухе могут использоваться в том случае, если обеспечивается стабильность смеси.

Нулевым газом для анализаторов CO, CO<sub>2</sub> и HC является нулевой воздух (который представляет собой "искусственный" воздух, состоящий из смеси 20–22 % O<sub>2</sub> с N<sub>2</sub>). Для анализатора NO<sub>x</sub> в качестве нулевого газа применяется нулевой азот. Содержание примесей в обоих типах нулевого газа ограничивается следующими величинами:

1 ppm C,  
1 ppmCO,  
100 ppm CO<sub>2</sub>,  
1 ppm NO<sub>x</sub>.

Подающий заявку обеспечивает, чтобы поставляемые ему технические газы фактически соответствовали данным требованиям или чтобы это соответствие гарантировалось поставщиком.

\_\_\_\_\_

## ДОПОЛНЕНИЕ Е К ДОБАВЛЕНИЮ 3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭМИССИИ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВНЕСЕНИЕ ПОПРАВОК В РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ЧИСЛОВОЙ МЕТОД

### 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$AFR$	– отношение воздуха к топливу; отношение массового расхода сухого воздуха к массовому расходу топлива;
$EI$	– индекс эмиссии; $10^3 \times$ массовый расход газообразного продукта эмиссии на выхлопе/удельный массовый расход топлива;
$K$	– отношение газовой концентрации, измеренной во влажных условиях, к концентрации, измеренной в сухих условиях (после холодного паросепаратора);
$L, L'$	– коэффициент интерференции анализатора для интерференции $CO_2$ ;
$M, M'$	– коэффициент интерференции анализатора для интерференции $H_2O$ ;
$M_{\text{ВОЗДУХА}}$	– молекулярная масса сухого воздуха равна 28,966 г или, где удобно, равна $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ г;
$M_{CO}$	– молекулярная масса $CO$ равна 28,011 г;
$M_{HC}$	– молекулярная масса характеристического выхлопного углеводорода, принятого за $CH_4$ =16,043 г;
$M_{NO_2}$	– молекулярная масса $NO_2$ равна 46,008 г;
$M_C$	– масса атома углерода равна 12,011 г;
$M_H$	– масса атома водорода равна 1,008 г;
$P_1$	– количество молей $CO_2$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_2$	– количество молей $N_2$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_3$	– количество молей $O_2$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_4$	– количество молей $H_2O$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_5$	– количество молей $CO$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_6$	– количество молей $C_xH_y$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_7$	– количество молей $NO_2$ в выхлопной пробе на моль топлива;

$P_8$	– количество молей NO в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_T$	– $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$ ;
$[O_2]_b$	– газовая концентрация $O_2$ в сухом воздухе по объему равна 0,209 5;
$[N_2]_b$	– газовая концентрация $N_2$ + редкие газы в сухом воздухе по объему равна 0,790 2;
$[CO_2]_b$	– газовая концентрация $CO_2$ в сухом воздухе по объему равна 0,000 3;
$P_o$	– количество молей воздуха на моль топлива в начальной смеси воздух/топливо;
$Z$	– условное обозначение, используемое и определенное в п. 3.4;
$[CO_2]$	– средняя газовая концентрация $CO_2$ в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях;
$[CO]$	– средняя газовая концентрация CO в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях;
$[HC]$	– средняя газовая концентрация углеводородов в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях, выраженная содержанием углерода;
$[NO]$	– средняя газовая концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях;
$[NO_2]$	– средняя газовая концентрация $NO_2$ в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях;
$= \frac{([NOx]_c - [NO])}{\eta}$	
$[NOx]$	– средняя газовая концентрация NO и $NO_2$ в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях = $[NO + NO_2]$ ;
$[NOx]_c$	– средняя газовая концентрация NO в выхлопной пробе после прохождения через конвертер $NO_2/NO$ (объем/объем), во влажных условиях;
$[ ]_d$	– средняя газовая концентрация в выхлопной пробе после холодного паросепаратора (объем/объем);
$[ ]_m$	– средняя измеренная газовая концентрация до введения инструментальной поправки (объем/объем);
$h_{vol}$	– влажность окружающего воздуха (объем воды/объем сухого воздуха);
$h_d$	– влажность выхлопной пробы на выходе "сушильной установки" или "холодильного паросепаратора" (объем воды/объем сухой пробы);
$m$	– количество атомов C в характеристической молекуле топлива;
$n$	– количество атомов H в характеристической молекуле топлива;
$x$	– количество атомов C в характеристической молекуле выхлопного углеводорода;
$y$	– количество атомов H в характеристической молекуле выхлопного углеводорода;
$\eta$	– КПД конвертера $NO_2/NO$ .

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ EI И AFR

2.1 Предполагается, что баланс между первоначальным состоянием топливовоздушной смеси и результирующим состоянием отобранной выхлопной эмиссии может быть выражен с помощью следующего уравнения:

$$C_m H_n + P_0 [ [O_2]_b (O_2) + [N_2]_b (N_2) + [CO_2]_b (CO_2) + h_{vol} (H_2O) ] = P_1 (CO_2) + P_2 (N_2) + P_3 (O_2) + P_4 (H_2O) + P_5 (CO) + P_6 (C_x H_y) + P_7 (NO_2) + P_8 (NO),$$

из которого требуемые параметры могут быть определены как

$$EI(CO) = P_5 \left( \frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right);$$

$$EI(HC) = xP_6 \left( \frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ выражен как эквивалент метана};$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left( \frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ выражен как эквивалент } NO_2;$$

$$AFR = P_0 \left( \frac{M_{ВОЗДУХА}}{mM_C + nM_H} \right).$$

2.2 Величины углеводородного состава топлива ( $m$ ,  $n$ ) определяются спецификацией топлива или путем анализа. Если таким образом определено только отношение  $n/m$ , то может устанавливаться величина  $m = 12$ . Обычно молекулярные части составляющих сухого воздуха ( $[O_2]_b$ ,  $[N_2]_b$ ,  $[CO_2]_b$ ) берутся равными рекомендуемому стандартным величинам, однако могут устанавливаться альтернативные величины при соблюдении ограничения  $[O_2]_b + [N_2]_b + [CO_2]_b = 1$  и при утверждении полномочным сертифицирующим органом.

2.3 Влажность окружающего воздуха,  $h_{vol}$ , измеряется в каждом режиме испытаний. Рекомендуется, чтобы при отсутствии доказательств противного для характеристики ( $x$ ,  $y$ ) выхлопного углеводорода устанавливались величины  $x = 1$  и  $y = 4$ .

2.4 Для определения остальных неизвестных величин требуется решить следующую систему линейных уравнений, из которых уравнения (1) – (4) вытекают из основных законов сохранения атомной массы, а уравнения (5) – (9) представляют зависимость концентрации газообразных продуктов.

$$m + [CO_2]_b P_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2h_{vol}P_0 = 2P_4 + yP_6 \dots\dots\dots (2)$$

$$(2[O_2]_b + 2[CO_2]_b + h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3)$$

$$2[N_2]_b P_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$[HC] P_T = xP_6 \dots\dots\dots (7)$$

$$[\text{NOx}]_c P_T = \square P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[\text{NO}] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

Вышеуказанная система условных уравнений относится к тому случаю, когда все измеренные концентрации газов являются истинными, т. е. не подвержены влиянию интерференции и нет необходимости вносить поправки на высушивание пробы. На практике обычно наблюдается значительное влияние интерференции при замерах CO и NO и часто используется возможность альтернативного замера CO<sub>2</sub> и CO на сухой или частично сухой основе. Необходимые преобразования соответствующих уравнений описаны в пп. 2.5 и 2.6.

2.5 Эффекты интерференции в основном обусловлены наличием CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в пробе, которые могут совершенно различным образом повлиять на работу анализаторов CO и NOx. Анализатор CO подвержен эффекту смещения нуля, а анализатор NOx – эффекту изменения чувствительности, что учитывается следующими выражениями:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L [\text{CO}_2] + M [\text{H}_2\text{O}]$$

$$\text{и } [\text{NOx}]_c = [\text{NOx}]_{cm} (1 + L' [\text{CO}_2] + M' [\text{H}_2\text{O}]),$$

которые преобразуют в следующие уравнения, альтернативные уравнениям (6), (8) и (9), если необходимо внести поправки на влияние интерференции:

$$[\text{CO}]_m P_T + L P_1 + M P_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NOx}]_{cm} (P_T + L \square P_1 + M \square P_4) = \square P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L \square P_1 + M \square P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 Альтернативный замер газовых концентраций CO<sub>2</sub> и CO на сухой или частично сухой основе пробы, т. е. с пониженной до  $h_d$  влажностью пробы, требует применения следующих преобразованных условных уравнений:

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

и

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5.$$

Однако, как описано в п. 2.5, анализатор CO может также подвергаться влиянию интерференции, поэтому полное альтернативное уравнение для замера газовой концентрации CO принимает вид:

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + L P_1 + M h_d (P_T - P_4) = P_5 \dots\dots\dots (6B)$$

### 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ

#### 3.1 Общие положения

Уравнения (1) – (10) могут быть преобразованы в аналитические выражения для параметров EI и AFR, как показано в п. 7.1 этого добавления. Это преобразование представляет собой процесс постепенного исключения корней  $P_0, P_1-P_8, P_T$ , при этом допуская, что все замеры газовой концентрации определены для "влажной" пробы и не требуют внесения поправок на интерференцию или других аналогичных поправок. На практике часто используется возможность выбора проводить замеры газовой концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  на "сухой" или "полусухой" основе; также часто возникает необходимость вносить поправки на интерференцию. Выражения для использования в этих различных условиях приведены в пп. 3.2, 3.3 и 3.4.

#### 3.2 Уравнение для приведения результатов замеров сухой концентрации газов к концентрации на влажной основе

Влажная концентрация газа =  $K \times$  сухая концентрация газа, т. е.

$$[ ] = K [ ]_d.$$

Если  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  определены на "сухой" основе, используется следующее выражение для  $K$ :

$$K = \frac{\{4 + (n/m) [\text{CO}_2]_b + ([n/m] [\text{CO}_2]_b - 2h_{vol}) ([\text{NO}_2] - (2[\text{HC}]/x)) + (2 + h_{vol}) ([y/x] - [n/m] [\text{HC}]) (1 + h_d)\}}{(2 + h) \{2 + (n/m) (1 + h_d) ([\text{CO}_2]_d + [\text{CO}]_d)\} - ([n/m] [\text{CO}_2]_b - 2h) (1 - [1 + h_d] [\text{CO}]_d)}$$

#### 3.3 Поправка на интерференцию

В результате замеров  $\text{CO}$  и (или)  $\text{NO}_x$  и  $\text{NO}$ , возможно, потребуются вносить поправки на интерференцию  $\text{CO}_2$  пробы и концентрации воды до использования в аналитических уравнениях выше. Такие поправки обычно могут выражаться следующими путями:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L [\text{CO}_2] + M [\text{H}_2\text{O}];$$

$$[\text{CO}]_d = [\text{CO}]_{md} + L [\text{CO}_2]_d + M \left( \frac{h_d}{1 + h_d} \right);$$

$$[\text{NO}] = [\text{NO}]_m (1 + L' [\text{CO}_2] + M' [\text{H}_2\text{O}]);$$

$$\eta[\text{NO}_2] = ([\text{NO}_x]_{cm} - [\text{NO}]_m) (1 + L' [\text{CO}_2] + M' [\text{H}_2\text{O}]).$$

#### 3.4 Уравнение для определения содержания воды в пробе

Концентрация воды в пробе

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{([n/2m] + h_{vol} [P_0/m]) ([\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}])}{1 + [\text{CO}_2]_b (P_0/m)} - (y/2x)[\text{HC}],$$

где

$$P_0 / m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

и

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x])[HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}.$$

Следует отметить, что такое определение концентрации воды является функцией различных данных анализа концентрации газа, которые сами могут нуждаться в коррекции на интерференцию воды. В этих случаях для получения большей точности необходимы повторные замеры с последующим пересчетом концентрации воды до тех пор, пока не будет получена требуемая стабильность результатов. Этого не требуется при использовании альтернативного, числового метода решения (п. 4).

#### 4. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД: ЧИСЛОВОЕ РЕШЕНИЕ

4.1 В качестве альтернативы аналитическому методу, изложенному в п. 3 выше, индексы эмиссии, отношение воздуха к топливу, скорректированные концентрации газа во влажных условиях и т. д. можно легко получить путем числового решения уравнений (1) – (10) для каждой серии замеров на цифровой вычислительной машине.

4.2 Для учета поправок на интерференцию и (или) измерений высушенных проб в системе уравнений (1) – (10) фактические результаты замеров концентрации газа заменены теми альтернативными уравнениями (5A), (6A) и т. д., которые приемлемы для конкретной измерительной системы.

4.3 Подходящие простые машинные программы с двумерным массивом для решения уравнений широко распространены, они удобны и гибки в использовании для указанных целей и позволяют легко вводить и определять любые методы высушивания проб, поправки на интерференцию или другие поправки.

— — — — —



## ДОПОЛНЕНИЕ F К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТРЕБОВАНИЯ В ОТНОШЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

В соответствии с требованиями, изложенными в п. 3.2 добавления 3, кроме измеренной газовой концентрации компонентов отобранного газа, требуются также следующие данные:

- a) температура на входе: измеряется с точностью  $\pm 0,5$  °C в виде полной температуры в точке, отстоящей от входного сечения воздухозаборника двигателя на расстояние одного диаметра этого сечения;
- b) влажность на входе (кг воды/кг сухого воздуха): измеряется в точке, расположенной в пределах 50 м по направлению от входного сечения воздухозаборника двигателя, с точностью:
  - 1)  $\pm 5$  % для влажности окружающего воздуха, превышающей или равной 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха, или
  - 2)  $\pm 0,000317$  кг воды/кг сухого воздуха для влажности окружающего воздуха менее 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха;
- c) атмосферное давление: измеряется в радиусе 1 км от места испытания двигателя с точностью  $\pm 100$  Па; при необходимости вводится поправка на высоту испытательного стенда;
- d) массовый расход топлива: прямое измерение с точностью  $\pm 2$  %;
- e) отношение Н/С топлива: определяется отношением  $n/m$ , где  $C_m H_n$  – эквивалентное углеводородное представление топлива, используемого в испытании и определяемого на основе анализа типа топлива двигателя;
- f) параметры двигателя:
  - 1) тяга: прямое измерение с точностью  $\pm 1$  % при взлетной тяге и  $\pm 5$  % при минимальной тяге, используемой при сертификационных испытаниях, с линейным изменением между этими величинами;
  - 2) обороты двигателя: прямое измерение с точностью по крайней мере  $\pm 0,5$  %;
  - 3) расход воздуха в газогенераторе: определяется с точностью  $\pm 2$  % на основе тарировки характеристик двигателя.

Параметры, указанные в подпунктах a), b), d) и f), определяются в начале каждого испытания на эмиссию двигателей, в то время как параметр, указанный в подпункте c), определяется с интервалом не менее чем 1 ч в период испытаний на эмиссию.



## ДОБАВЛЕНИЕ 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТОПЛИВУ, ИСПОЛЬЗУЕМОМУ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЭМИССИЮ

Характеристики используемого при испытаниях топлива соответствуют характеристикам, указанным в настоящем добавлении, за исключением тех случаев, когда сертифицирующий орган согласился с отклонением или необходимыми корректировками. Топливо не содержит присадок, используемых для подавления дыма (таких, как металлоорганические соединения).

<i>Свойства</i>	<i>Допустимый диапазон величин</i>
Плотность, кг/м <sup>3</sup> при 15 °С	780–820
Температура дистилляции, °С	
10 % от точки кипения	155–201
Окончательная точка кипения	235–285
Полезная теплота сгорания, МДж/кг	42,86–43,50
Содержание ароматических веществ, в % к объему	15–23
Содержание нафталинов, в % к объему	0,0–3,0
Точка дымления, мм	20–28
Содержание водорода, в % к массе	13,4–14,3
Содержание серы, в % к массе	менее 0,3 %
Кинематическая вязкость при –20 °С, мм <sup>2</sup> /с	2,5–6,5

---



# ДОБАВЛЕНИЕ 5. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ФОРСАЖНОЙ КАМЕРОЙ

## 1. ВВЕДЕНИЕ

*Примечание. Определенные в настоящем добавлении правила касаются получения представительных проб выхлопных газов и их подачи в систему измерения эмиссии, в которой они анализируются. Данные правила применяются только в случае использования форсажа. Предлагаемые методы являются характерными для наиболее совершенной, легкодоступной и широко применяемой современной практики. Признается необходимым вносить поправки относительно условий окружающего воздуха. Метод будет указан, когда он станет известен. До тех пор любой метод внесения поправок, используемый при наличии форсажной камеры, может быть применен, если будет одобрен сертифицирующими органами.*

Изменение рекомендуемой методики, изложенной в настоящем добавлении, разрешается после представления соответствующей заявки полномочному сертифицирующему органу и утверждения им этих изменений.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В тех случаях, когда в настоящем добавлении употребляются приведенные ниже термины без каких-либо пояснений, они имеют следующие значения:

**Дрейф нуля.** Зависящее от времени отклонение выходного сигнала прибора от заданного нулевого значения при прохождении через него газа, не содержащего компонента, подлежащего измерению.

**Интерференция.** Реакция прибора на присутствие других компонентов, не являющихся газом (или паром), характеристики которого подлежат измерению.

**Концентрация.** Объемная доля представляющего интерес компонента в газовой смеси (выражается в процентах от объема или миллионных частях).

**Нерассеивающий инфракрасный анализатор.** Прибор, который с помощью поглощения энергии инфракрасного излучения осуществляет селективное измерение конкретных компонентов.

**Нулевой газ.** Газ, подлежащий использованию, при установке прибора в нулевое или нейтральное положение.

**Пламеионизационный детектор.** Детектор ионизации диффузионного водородно-воздушного пламени, выдающий сигнал, номинально пропорциональный количеству углеводородов, поступающих в это пламя в единицу времени (считается, что сигнал определяется числом поступающих в пламя атомов углерода).

**Повторяемость.** Точность измерения характеристик данного неизменяемого образца, которая может быть воспроизведена при повторных измерениях через короткие интервалы времени без настройки прибора.

**Разрешающая способность.** Наименьшее изменение результатов замера, которое может быть обнаружено.

**Реакция прибора.** Изменение выходного сигнала прибора в зависимости от изменения концентрации газов в пробе. Также выходной сигнал, соответствующий данной концентрации газов в пробе.

**Стабильность.** Точность, с которой неоднократные измерения характеристик данного неизменяемого образца могут быть выдержаны в течение определенного промежутка времени.

**Струя.** Общий внешний поток выхлопных газов двигателя, включая окружающий воздух, с которым смешиваются выхлопные газы.

**Тарировочный газ.** Эталонный газ, состав которого известен с высокой точностью, предназначенный для использования при регулировке, настройке и периодических проверках приборов.

**Точность.** Степень приближения измеренной величины к истинной величине, определенной независимо от этого измерения.

**Частей на миллион (ppm).** Единица объемной концентрации газа на миллионную часть объема газовой смеси, в состав которой входит этот газ.

**Частей на миллион частей углерода (ppmC).** Молярная доля углеводорода, умноженная на  $10^6$  и измеренная на основе эквивалентности метана. Таким образом, 1 ppm метана обозначается как 1 ppmC. Для преобразования концентрации любого углеводорода, выраженной в ppm, в эквивалентное значение, выраженное в ppmC, нужно умножить концентрацию, выраженную в ppm, на число атомов углерода, входящих в состав молекулы газа. Например, 1 ppm пропана соответствует 3 ppmC углеводорода, 1 ppm гексана – 6 ppmC углеводорода.

**Шум.** Случайные отклонения данных на выходе прибора, не связанные с характеристиками пробы, измеряемой этим прибором; их следует отличать от характеристик смещения.

**Эталонный газ.** Смесь газов заданного известного состава, которая используется в качестве основы для расшифровки показаний прибора в единицах концентрации газа, измеряемого этим прибором.

### 3. ТРЕБУЕМЫЕ ДАННЫЕ

#### 3.1 Эмиссия газообразных веществ

Определяется концентрация следующих газов:

- Углеводороды (HC): производится комбинированная оценка всех соединений углеводорода, присутствующих в выхлопных газах.
- Оксид углерода (CO).
- Двуокись углерода (CO<sub>2</sub>).

*Примечание. CO<sub>2</sub> не считается загрязняющим веществом, однако определение ее концентрации необходимо для целей расчета и проверки.*

- Оксиды азота (NO<sub>x</sub>): рассчитывается сумма двух окислов – окиси азота (NO) и двуокиси азота (NO<sub>2</sub>).
- Оксид азота (NO).

### 3.2 Прочая информация

Для нормирования данных характеристик эмиссии и для количественного выражения испытываемых характеристик двигателя представляется следующая информация в дополнение к п. 3.4 главы 3;

- температура на входе;
- влажность на входе;
- атмосферное давление;
- векторы ветра по отношению к оси струи выхлопных газов двигателя;
- соотношение водорода/углерода в топливе;
- детали установки двигателя;
- другие требуемые параметры двигателя (например, тяга, число оборотов ротора, температура газов в турбине);
- данные о концентрации загрязняющих веществ и параметры статистического обоснования.

В соответствии с дополнением F к настоящему добавлению эти данные получают либо путем прямого измерения, либо путем расчетов.

## 4. ОБЩЕЕ ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ

Учитывая реактивный характер струи выхлопных газов двигателей, работающих с использованием форсажной камеры, необходимо обеспечить, чтобы замеряемые выхлопные газы действительно соответствовали газам, фактически выбрасываемым в окружающую атмосферу. Это условие достигается при отборе проб струи выхлопных газов на достаточно большом удалении от двигателя, т. е. когда выхлопные газы охладились до температуры, при которой прекращается протекание реакций. Для очистки отобранных выхлопных газов, подаваемых к приборам для анализа на содержание окислов азота и углеводородов, не используются обезвоживатели, осушители, водоотделители или аналогичное оборудование. Требования к различным компонентам подсистем приводятся в п. 5, а ниже приводится перечень некоторых ограничений и вариантов:

- a) Предполагается, что в состав каждой отдельной подсистемы входят необходимые устройства для регулирования потока, кондиционирования и измерения.
- b) Необходимость установки откачивающего насоса и (или) насоса для подачи горячих проб будет зависеть от способности анализирующей подсистемы удовлетворять требования в отношении времени подачи проб и массового расхода отобранных газов. В свою очередь, это зависит от давления подачи отобранных выхлопных газов и потерь в линиях. Считается, что в основном эти насосы потребуются при определенных условиях испытаний двигателя.
- c) В случае необходимости местоположение насоса для подачи горячих проб по отношению к подсистемам анализа газов может быть изменено по сравнению с указанным на рисунке. (Например, некоторые анализаторы НС включают в себя насосы для подачи горячих проб и, следовательно, могут считаться пригодными для их установки перед насосом для подачи горячих проб данной системы).

*Примечание. На рис. A5-1 и A5-2 изображены схемы системы отбора и анализа проб выхлопных газов, которая характеризует основные требования к испытаниям эмиссии.*

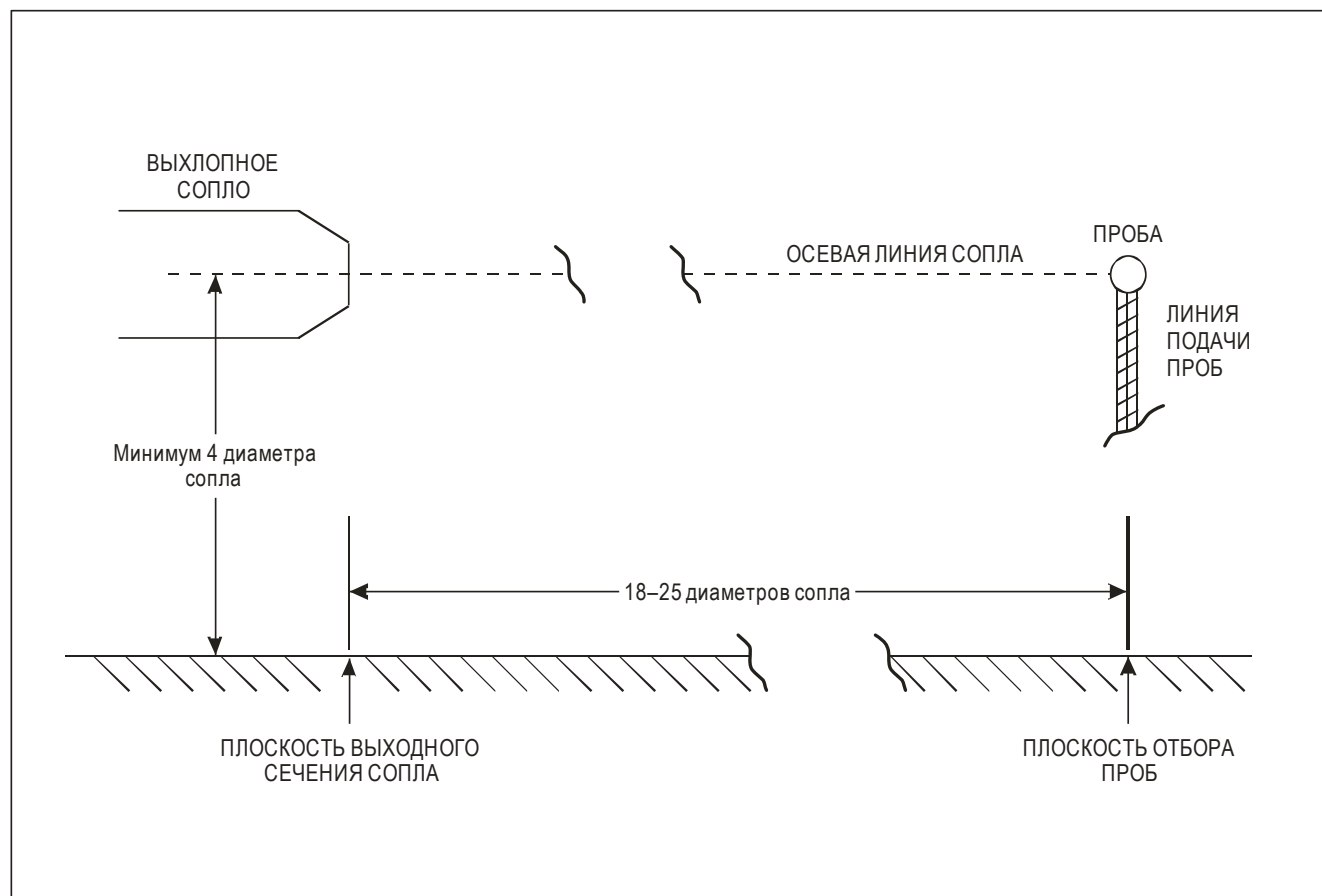
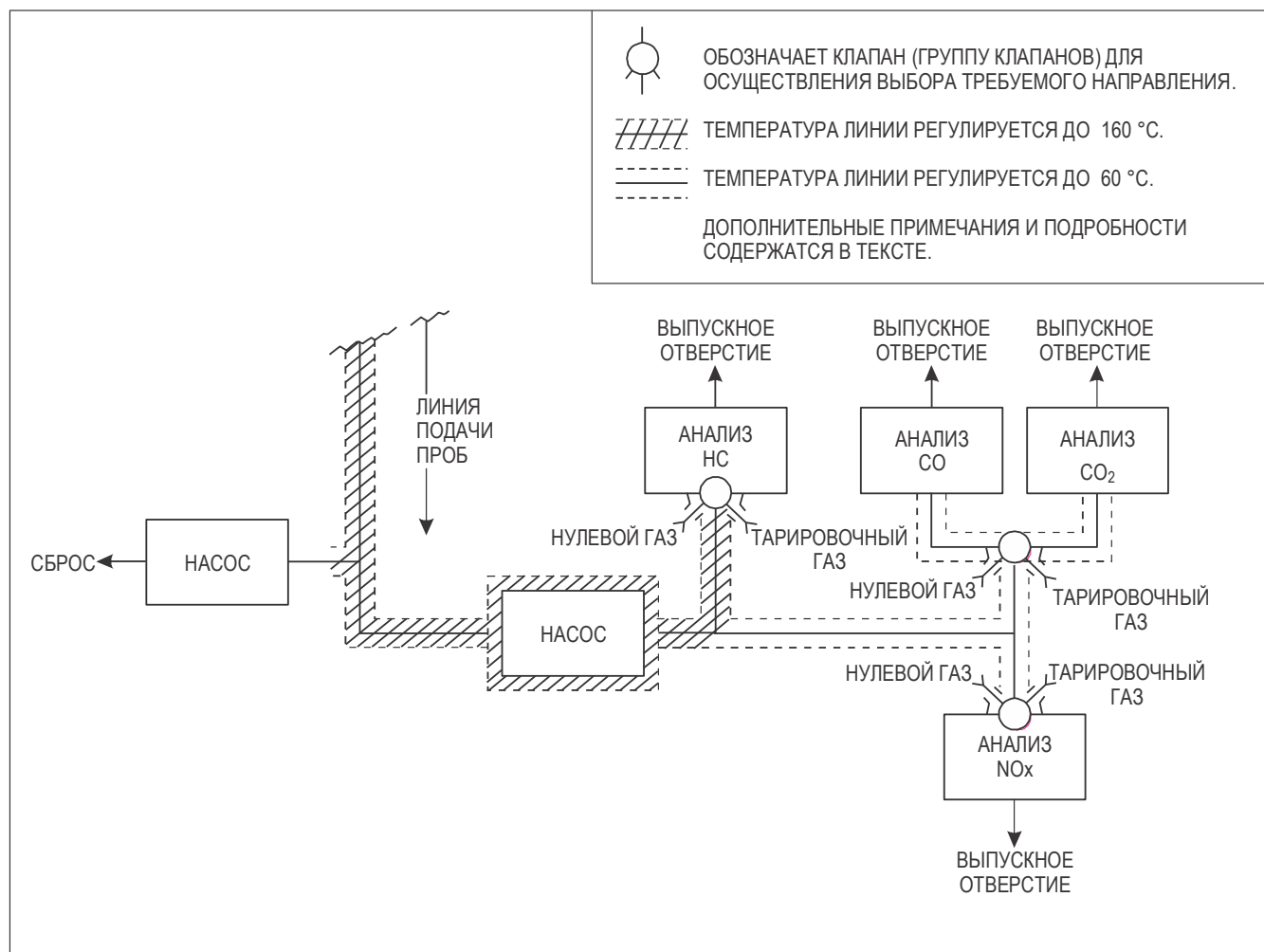


Рис. А5-1. Схема системы отбора проб





**Рис. А5-2. Схема системы отбора и анализа проб**

## 5. ОПИСАНИЕ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

*Примечание. Ниже приводятся общее описание и характеристики основных элементов системы измерения характеристик выхлопных газов двигателей. Более подробное описание, когда это необходимо, дается в дополнениях А, В и С к настоящему добавлению.*

## 5.1 Система отбора проб

### 5.1.1 Пробоотборник

- a) Конструкция пробоотборника позволяет производить отбор отдельных проб в различных точках поперечного сечения струи выхлопных газов. Смешивание проб не допускается.
- b) В качестве материала, контактирующего с пробой, используется нержавеющая сталь, и ее температура поддерживается в пределах не менее 60 °С.

- с) Плоскость отбора проб располагается перпендикулярно продолжению осевой линии сопла двигателя и по возможности ближе к точке, отстоящей от выходного сечения сопла на расстояние в 18 диаметров, в соответствии с п. 7.1.2, но ни в коем случае не дальше 25 диаметров сопла. Диаметр выходного сечения сопла берется по максимальной тяге двигателя. В объеме воздушного пространства между плоскостью выходного сопла и плоскостью отбора проб не должно быть никаких препятствий в радиальном направлении на расстоянии от оси сопла в 4 диаметра выходного сечения.
- д) Для отбора проб используется по крайней мере 11 отдельных точек. Плоскость измерения, расположенная на расстоянии  $X$  от двигателя, разделена на три секции, отделенные окружностями, через центры которых проходит ось выхлопной струи и радиусы которых составляют:

$$R1 = 0,05X;$$

$$R2 = 0,09X.$$

Каждая секция должна содержать по крайней мере 3 точки для отбора проб. Разность между количеством точек для отбора проб в каждой секции должна быть менее 3. Наиболее удаленная от оси точка для отбора проб должна располагаться в радиусе от 0,11 до 0,16 $X$ .

### 5.1.2 Линии подачи проб

Пробы подаются из пробоотборника в анализаторы по линии с внутренним диаметром 4,0–8,5 мм по кратчайшему маршруту, используя такое значение расхода, чтобы время подачи составляло менее 10 с. Температура в этой линии поддерживается в пределах  $160\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (с точностью до  $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Когда отбор проб осуществляется с целью измерения составляющих  $\text{HC}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$ , линия изготавливается из нержавеющей стали или шлифованного наполненного углеродом материала PTFE (политетрафторэтилена).

## 5.2 Анализатор углеводородов (HC)

Измерение общего содержания углеводородов в пробе проводится с помощью анализатора, в котором между электродами подогретого пламенионизационного детектора (FID) проходит ионизационный ток, пропорциональный массовому расходу углеводородов, вступающих в процесс горения водорода. Предполагается, что анализатор включает в себя компоненты, предназначенные для регулирования температуры и расхода газов, содержащихся в пробах, перепуска газов, газового топлива и охлаждающих газов, и что он обеспечивает проведение эффективных контрольных тарировок диапазона и нуля.

*Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении А к настоящему добавлению.*

## 5.3 Анализаторы окиси и двуокиси углерода ( $\text{CO}$ и $\text{CO}_2$ )

Для измерения этих компонентов используются нерассеивающие инфракрасные анализаторы, конструкция которых предусматривает использование принципа дифференциального поглощения энергии в параллельных элементах, чувствительных к стандартному и отобранному газам, причем элемент или группа элементов для каждого из этих компонентов газа соответствующим образом сенсibilизированы. Предусматривается выполнение этой анализирующей подсистемой всех необходимых функций, связанных с управлением и регулированием потоков газа, содержащихся в пробах, а также потоков нулевого газа и поперечных потоков. Регулирование температуры отвечает требованиям независимо от того, в каком состоянии измеряется проба (влажном или сухом).

*Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении В к настоящему добавлению.*

#### 5.4 Анализатор окислов азота (NOx)

Измерение концентрации окиси азота (NO) проводится по методу хемилюминесценции, в соответствии с которым мера интенсивности излучения вступающей в реакцию NO с добавлением O<sub>3</sub> соответствует мере концентрации NO. До проведения измерения компонент NO<sub>2</sub> преобразуется в NO в конвертере, обладающем нужной эффективностью. Результирующая система измерения NOx включает все необходимые устройства для регулирования тока, температуры и других параметров и обеспечивает возможность выполнения обычной процедуры тарировки нуля и диапазона измерения, а также проведения проверок эффективности конвертера.

*Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении С к настоящему добавлению.*

### 6. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

#### 6.1 Работа двигателя

Двигатель работает на открытом воздухе на стационарном испытательном стенде, который соответственно оборудован для проведения высокоточных испытаний характеристик и который отвечает требованиям для пробоотборника, указанным в п. 5.1. Испытания с целью измерения параметров эмиссии проводятся при величинах тяги, определенных полномочным сертифицирующим органом. Обеспечивается стабильная работа двигателя при каждой величине тяги.

#### 6.2 Условия окружающего воздуха

6.2.1 Замеры концентраций CO, HC, CO<sub>2</sub> и NOx производятся в окружающем воздухе в испытательных условиях работы проверяемого двигателя. Чрезмерно высокие концентрации указанных веществ означают ненормальное состояние, например попадание выхлопных газов в воздухозаборник двигателя, утечку топлива или наличие другой причины нежелательной эмиссии в зоне испытаний. Такое положение соответственно исправляется или ликвидируется.

*Примечание. Следует руководствоваться такими показателями: нормальная концентрация CO<sub>2</sub> в окружающем воздухе составляет 0,03 % и при нормальных окружающих условиях уровни концентрации CO и HC не превышают 5 ppm, а NOx – 0,5 ppm.*

6.2.2 Следует избегать крайне сложных климатических условий, характеризующихся, например, выпадением осадков или чрезмерно высокой скоростью ветра.

#### 6.3 Основная тарировка приборов

*Примечание. Основная цель такой тарировки заключается в том, чтобы убедиться в стабильности и линейности их характеристик.*

6.3.1 Подающий заявку на проведение испытаний представляет полномочному сертифицирующему органу доказательства того, что система для анализа соответствующим образом тарирована ко времени проведения испытаний.

6.3.2 Что касается анализатора углеводородов, то при этой тарировке проверяется, находятся ли показания детектора кислорода и избирательные показания детектора углеводородов в пределах, установленных в дополнении А к настоящему добавлению. Проверяется также соответствие КПД конвертера NO<sub>2</sub>/NO положениям дополнения С к настоящему добавлению.

6.3.3 При проверке характеристик каждого анализатора применяют указанную ниже методику (с использованием тарировочного и испытываемого газов, как указано в дополнении D к настоящему добавлению):

- a) ввести нулевой газ и установить прибор на нуль, записав соответствующим образом его показания;
- b) для каждого подлежащего использованию в работе интервала измерения ввести тарировочный газ, концентрация которого соответствует (номинально) отклонению стрелки прибора на 90 % всего диапазона измерения прибора (FSD); соответствующим образом отрегулировать коэффициент усиления прибора и записать его показания;
- c) ввести тарировочные газы, приблизительно соответствующие 30, 60 и 90 % от величины FSD, и записать показания анализатора;
- d) провести прямую линию наименьших квадратов через точки, которые соответствуют концентрации, равной 0, 30, 60 и 90 %. Если будет признано необходимым, для основной модели анализатора CO и (или) CO<sub>2</sub> без линеаризации выхода проводится кривая наименьших квадратов соответствующей математической формы с использованием, при необходимости, дополнительных тарировочных точек. В случае если какая-либо точка отклоняется более чем на 2 % от значения всего диапазона измерения прибора (или  $\pm 1$  ppm\*, в зависимости от того, что больше), для эксплуатационного применения подготавливается тарировочная кривая.

#### 6.4 Пользование приборами

6.4.1 Измерения не проводятся до тех пор, пока все приборы и линии подачи проб не подогреты и не стабилизированы, а также не выполнены следующие проверки:

- a) Проверка на утечку: до проведения серий испытаний система проверяется на утечку путем изоляции пробоотборника и анализаторов, подсоединения и включения вакуумного насоса, который по своим характеристикам эквивалентен насосу, используемому в системе измерения уровней дыма, с целью проверки того, что величина утечки в системе составляет менее 0,4 л/мин при условиях, соответствующих нормальным температуре и давлению.
- b) Проверка на чистоту: изолировать систему отбора проб газа от пробоотборника и подсоединить конец линии отбора проб к источнику нулевого газа. Подогреть систему до рабочей температуры, необходимой для проведения измерений содержания углеводородов. Включить насос отбора проб и установить величину расхода, равную той, которая используется при испытаниях эмиссии двигателей. Зарегистрировать показание анализатора содержания углеводородов. Это показание не превышает 1 % от уровня эмиссии двигателя на режиме малого газа или 1 ppm (выраженных через содержание метана), в зависимости от того, какая величина является большей.

*Примечание 1. Для того чтобы исключить значительное загрязнение линий подачи проб, хорошей практикой является обратная продувка этих линий во время работы двигателя, когда заборник пробы находится в струе выхлопных газов двигателя, но характеристики эмиссии не измеряются.*

*Примечание 2. Полезно также контролировать качество всасываемого воздуха в начале и в конце испытаний, а также по крайней мере через каждый час в ходе испытаний. Если уровни считаются значительными, то их необходимо учитывать.*

---

\* Кроме анализатора CO<sub>2</sub>, для которого это значение составляет  $\pm 100$  ppm.

6.4.2 Эксплуатационные измерения проводятся по следующей методике:

- a) с помощью соответствующего нулевого газа произвести все необходимые виды настройки приборов;
- b) ввести тарировочный газ, концентрация которого соответствует (номинально) 90 % от величины концентрации FSD для всех подлежащих использованию интервалов измерения; соответствующим образом установить и записать значение коэффициента усиления;
- c) после того как работа двигателя стабилизируется в требуемых эксплуатационных условиях с учетом места отбора проб, продолжить испытание двигателя и наблюдение за концентрацией загрязняющих веществ до тех пор, пока не будут получены стабильные показания, которые и регистрируются. Повторить процедуру измерений для остальных мест отбора проб при том же эксплуатационном режиме двигателя;
- d) в конце испытания, а также во время испытаний через интервалы времени, не превышающие 1 ч, произвести повторную проверку нулевых и тарировочных точек. В случае, если какая-либо точка сместилась более чем на  $\pm 2$  % от всего диапазона измерения прибора, прибор вновь настраивается в установленных пределах и испытание повторяется.

## 7. РАСЧЕТЫ

### 7.1 Эмиссия газообразных веществ

#### 7.1.1 Общие положения

В результате проведения аналитических измерений получают значения концентрации различных классов загрязняющих веществ при соответствующем режиме(ах) форсажа двигателя для различных мест расположения плоскости отбора проб. Ниже указывается порядок определения других параметров, которые также регистрируются наряду с упомянутыми основными параметрами.

#### 7.1.2 Анализ и подтверждение данных измерений

- a) Данные, полученные на основе замеров концентрации в различных местах отбора проб для каждого режима работы двигателя, должны усредняться следующим образом:

$$C_{i \text{ moy}} = \sum_{j=1}^n C_{i j},$$

где

$\sum_{j=1}^n$  – общее число ( $n$ ) точек, в которых производился отбор проб;

$C_{ij}$  – концентрации вида  $i$ , измеренные в точке  $j$  отбора пробы;

$C_{i \text{ moy}}$  – средняя концентрация вида  $i$ .

Все результаты замера концентрации на сухой основе преобразуются в реальные концентрации на влажной основе (см. дополнение Е к настоящему добавлению).

б) Качество замеров каждого загрязняющего вещества определяется путем сравнения с замерах  $\text{CO}_2$ , используя следующий коэффициент корреляции:

$$r_i = \frac{n \sum_{j=1}^n C_{ij} \text{CO}_{2j} - \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j}}{\sqrt{\left\{ n \sum_{j=1}^n (\text{CO}_{2j})^2 - \left( \sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j} \right)^2 \right\} \left\{ n \sum_{j=1}^n C_{ij}^2 - \left( \sum_{j=1}^n C_{ij} \right)^2 \right\}}}.$$

Значения  $r_i$ , близкие к 1, свидетельствуют о том, что результаты измерений, произведенных в течение всего периода отбора проб, достаточно стабильны и кривые являются кривыми Гаусса. В том случае, если  $r_i$  меньше 0,95, измерения должны быть повторены на большем удалении плоскости отбора проб от двигателя воздушного судна. После самого процесса измерения осуществляются те же вычисления и такое же демонстрирование наглядными примерами, как и раньше.

### 7.1.3 Основные параметры

Средняя концентрация каждого вида газообразных веществ для каждого эксплуатационного режима работы двигателя определяется, как показано в п. 7.1.2; какие-либо необходимые поправки в отношении замера проб на сухой основе и(или) интерференций вносятся, как указано в дополнении Е к настоящему добавлению. Эти средние концентрации используются для вычисления следующих основных параметров:

$$\text{EI}_p \text{ (индекс эмиссии для компонента } p) = \frac{\text{масса образующего компонента } p \text{ в г}}{\text{масса используемого топлива в кг}};$$

$$\text{EI}(\text{CO}) = \left( \frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_0/m));$$

$$\text{EI}(\text{HC}) = \left( \frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_0/m));$$

$$\text{EI}(\text{NO}_x) \text{ (как NO}_2) = \left( \frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1 + T(P_0/m));$$

$$\text{отношение воздуха к топливу} = (P_0/m) \left( \frac{M_{\text{ВОЗДУХА}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right),$$

где

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{\text{vol}} - [TZ/2])}$$

и

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x])[ \text{HC} ] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}.$$

$M_{\text{ВОЗДУХА}}$	– молекулярная масса сухого воздуха равна 28,966 г или, где уместно, равна $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ г;
$M_{\text{HC}}$	– молекулярная масса углеводородов в выхлопной пробе, принимаемая как $\text{CH}_4 = 16,043$ г;
$M_{\text{CO}}$	– молекулярная масса CO равна 28,011 г;
$M_{\text{NO}_2}$	– молекулярная масса $\text{NO}_2$ равна 46,008 г;
$M_{\text{C}}$	– масса атома углерода равна 12,011 г;
$M_{\text{H}}$	– масса атома водорода равна 1,008 г;
$R$	– концентрация $\text{O}_2$ в сухом воздухе по объему обычно равна 0,2095;
$S$	– концентрация $\text{N}_2$ + редкие газы в сухом воздухе по объему обычно равна 0,7902;
$T$	– концентрация $\text{CO}_2$ в сухом воздухе по объему обычно равна 0,0003;
$[\text{HC}]$	– средняя концентрация выхлопных углеводородов (объем/объем во влажных условиях), выраженных как углерод;
$[\text{CO}]$	– средняя концентрация CO (объем/объем во влажных условиях);
$[\text{CO}_2]$	– средняя концентрация $\text{CO}_2$ (объем/объем во влажных условиях);
$[\text{NO}_x]$	– средняя концентрация $\text{NO}_x$ (объем/объем во влажных условиях) равна $[\text{NO}] + [\text{NO}_2]$ ;
$[\text{NO}]$	– средняя концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем во влажных условиях);
$[\text{NO}_2]$	– средняя концентрация $\text{NO}_2$ в выхлопной пробе (объем/объем во влажных условиях)
	$= \frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta};$
$[\text{NO}_x]_c$	– средняя концентрация NO в выхлопной пробе после прохождения через конвертер $\text{NO}_2/\text{NO}$ (объем/объем во влажных условиях);
$\eta$	– КПД конвертера $\text{NO}_2/\text{NO}$ ;
$h_{\text{vol}}$	– влажность окружающего воздуха (объем воды/объем сухого воздуха);
$m$	– количество атомов C в характеристической молекуле топлива;
$n$	– количество атомов H в характеристической молекуле топлива;
$x$	– количество атомов C в характеристической молекуле выхлопных углеводородов;
$y$	– количество атомов H в характеристической молекуле выхлопных углеводородов.

Величина отношения атома водорода к атому углерода используемого топлива ( $n/m$ ) определяется посредством анализа типа топлива. Влажность окружающего воздуха,  $h$ , измеряется для каждого конкретного условия. При отсутствии доказательств противного для характеристики ( $x, y$ ) выхлопных углеводородов используются значения  $x = 1, y = 4$ . Если в измерениях должны использоваться сухие или полусухие СО и СО<sub>2</sub>, значения их концентрации приводятся к эквивалентным значениям концентрации влажных СО и СО<sub>2</sub>, как показано в дополнении Е, в котором также содержится формула внесения поправок на интерференцию для использования при необходимости.

*Примечание. Приведенные в пп. 7.1.4 и 7.2 правила применимы только к испытаниям, при которых не использовался форсажный режим. Аналогичные правила для испытаний с использованием такого режима могут быть применены с одобрения полномочного сертифицирующего органа.*

#### 7.1.4 Приведение индексов эмиссии к стандартным условиям

С целью учета отклонений фактической температуры и давления воздуха на входе испытываемого двигателя от стандартных условий МСА на уровне моря вносятся поправки в измеряемые индексы эмиссии для всех загрязняющих веществ при всех соответствующих режимах работы двигателя. Стандартное значение влажности равно 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха.

Следовательно, ЕИ приведенный =  $K \times$  ЕИ измеренный, где общее выражение для  $K$ :

$$K = (P_{вст}/P_B)^a \times (FAR_{ст}/FAR_B)^b \times \exp([T_{вст} - T_B]/c) \times \exp(d[h_{vol} - 0,00634]),$$

где  $P_B$  — измеренное давление на входе в камеру сгорания;

$T_B$  — измеренная температура на входе в камеру сгорания;

$FAR_B$  — отношение топлива к воздуху в камере сгорания;

$h_{vol}$  — влажность окружающего воздуха;

$P_{ст}$  — давление на уровне моря (МСА);

$T_{ст}$  — температура на уровне моря (МСА);

$P_{вст}$  — давление на входе в камеру сгорания испытываемого двигателя (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя), связанные с  $T_B$  при условиях МСА на уровне моря;

$T_{вст}$  — температура на входе в камеру сгорания испытываемого двигателя при условиях МСА на уровне моря (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя). Эта температура установлена относительно уровня тяги, определенного для каждого режима работы двигателя;

$FAR_{ст}$  — отношение топлива к воздуху в камере сгорания испытываемого двигателя при условии МСА на уровне моря (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя);

$a, b, c, d$  — расчетные постоянные, которые могут быть различными для каждого загрязнителя и каждого типа двигателя.

Предпочтительнее измерять параметры на входе в камеру сгорания, но они могут также высчитываться относительно окружающих условий с помощью соответствующей формулы.



7.1.5 Использование рекомендуемой методики нанесения кривой по точкам в целях установления соотношения индексов эмиссии к температуре на входе в камеру сгорания эффективно исключает выражение  $\exp([T_{BCT} - T_{BCT}]/c)$  из общего уравнения, и в большинстве случаев выражение  $(FAR_{CT}/FAR_B)$  может считаться единицей. Для индексов эмиссии CO и HC многие органы, проводящие испытания, определили, что член, учитывающий влажность, достаточно близок к единице и его можно исключить из общего выражения, а также что показатель степени выражения  $(P_{BCT}/P_B)$  близок к единице.

Таким образом,

EI(CO) приведенный = EI, полученный из кривой зависимости  $(P_B/P_{BCT}) \cdot EI(CO)$  от  $T_B$ ;

EI(HC) приведенный = EI, полученный из кривой зависимости  $(P_B/P_{BCT}) \cdot EI(HC)$  от  $T_B$ ;

EI(NOx) приведенный = EI, полученный из кривой зависимости EI(NOx)  $(P_{BCT}/P_B)^{0,5\exp(19[h_{vol} - 0,00634])}$  от  $T_B$ .

В том случае, когда данный рекомендуемый метод коррекции индексов эмиссии CO и HC не обеспечивает удовлетворительной корреляции, может применяться альтернативный метод с использованием параметров, полученных в отдельных испытаниях.

Любые другие применяемые методы внесения поправок в индексы эмиссии CO, HC и NOx утверждаются полномочным сертифицирующим органом.

## 7.2 Величины, входящие в контрольный параметр ( $D_p$ , $F_{oo}$ , $\pi$ )

### 7.2.1 Определения

$D_p$  – масса любого газообразного загрязняющего вещества, выделяемого в атмосферу в течение стандартного цикла эмиссии при посадке и взлете.

$F_{oo}$  – утвержденная соответствующим сертифицирующим органом максимальная тяга, необходимая для взлета при нормальных эксплуатационных условиях в статических условиях МСА на уровне моря без использования впрыска воды.

$\pi$  – отношение средней величины полного давления в выходной плоскости последней ступени компрессора к средней величине полного давления во входной плоскости первой ступени компрессора в момент, когда двигатель развивает номинальную взлетную тягу в статических условиях МСА на уровне моря.

7.2.2 Индексы эмиссии (EI) для каждого загрязнителя с внесенными, как указано в п. 7.1.4, поправками на давление и влажность относительно стандартных атмосферных условий и, по мере необходимости, относительно исходного двигателя получают для требуемых эксплуатационных режимов цикла *LTO* ( $n$ ), т. е. при работе двигателя на режиме малого газа, при заходе на посадку, при наборе высоты и взлете, с учетом эквивалентных скорректированных условий тяги. В целях определения режима малого газа требуется проводить испытания по крайней мере в трех точках. Для каждого загрязняющего вещества определяются следующие зависимости:

a) между EI и  $T_B$ ;

b) между  $W_f$  (массовый расход топлива) и  $T_B$ ;

c) между  $F_n$  (приведенным к условиям МСА на уровне моря) и  $T_B$  (приведенной к условиям МСА на уровне моря).

*Примечание. Для примера эти зависимости приводятся на рис. А5-3 а), b) и с).*

Когда испытываемый двигатель не является "исходным" двигателем, данные могут корректироваться относительно "исходного" двигателя с использованием при этом зависимостей b) и с), полученных для исходного двигателя. Исходный двигатель определен как двигатель, в значительной мере соответствующий конфигурации двигателя, представленного на сертификацию и принятого сертифицирующим органом в качестве данного типа двигателя, представленного на получение сертификата.

Кроме того, изготовитель представляет полномочному сертифицирующему органу все необходимые данные о технических характеристиках двигателей с целью обоснования этих зависимостей и для условий МСА на уровне моря:

- d) максимальная тяга ( $F_{oo}$ );
- e) степень повышения давления в двигателе ( $\pi$ ) на максимальной тяге.

*Примечание. Эти данные приводятся на рис. А5-3 d).*

7.2.3 Оценка EI для каждого загрязняющего вещества при каждом требуемом режиме работы двигателя, приведенная к стандартным условиям окружающего воздуха, проводится в соответствии со следующей общей процедурой:

- a) определить эквивалентную температуру на входе в камеру сгорания ( $T_B$ ) (рис. А5-3 с)) для каждого режима тяги для условий МСА  $F_n$ ;
- b) на основе характеристики EI/ $T_B$  (рис. А5-3 а)) определить величину EI<sub>n</sub>, соответствующую  $T_B$ ;
- c) на основе характеристики  $W_f/T_B$  (рис. А5-3 b)) определить величину  $W_{fn}$ , соответствующую  $T_B$ ;
- d) записать величины максимальной тяги и степени повышения давления для условий МСА. Соответственно они будут представлять собой  $F_{oo}$  и  $\pi$  (рис. А5-3 d));
- e) для каждого загрязняющего вещества рассчитать  $D_p = \Sigma(EI_n) (W_{fn}) (t)$ ,

где  $t$  – время работы на режиме в течение LTO (в минутах);

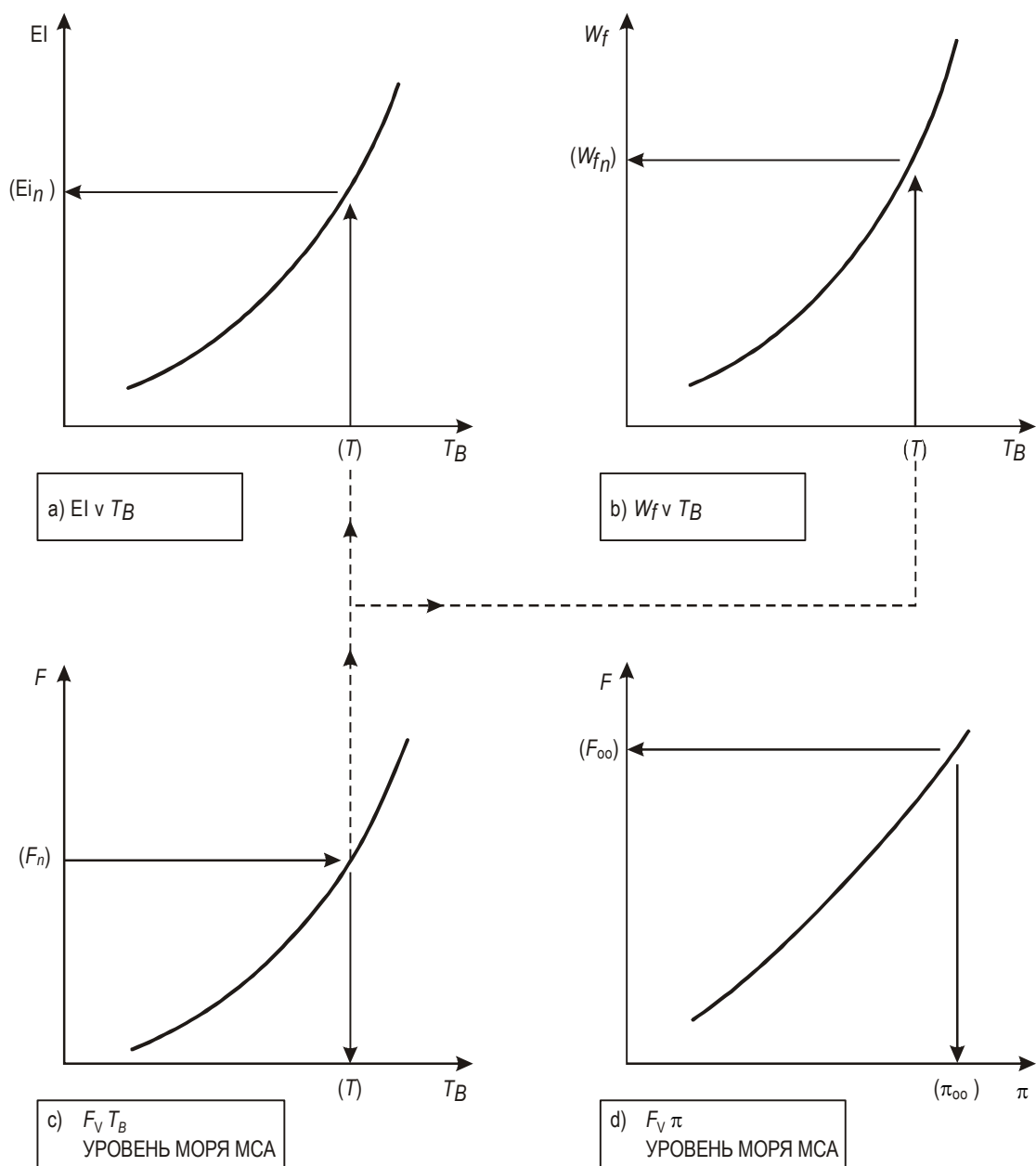
$W_{fn}$  – массовый расход топлива (кг/мин);

$\Sigma$  – означает совокупность режимов, используемых на протяжении исходного цикла LTO.

7.2.4 Несмотря на то что описанная выше методология является рекомендуемым методом, полномочный сертифицирующий орган может одобрить равноценную математическую процедуру, в которой употребляется математическое выражение, задающее изображенные кривые, если выражения получены путем использования принятой методики нанесения кривой по точкам.

### 7.3 Исключения из предлагаемых правил

В тех случаях, когда конфигурация двигателя или наличие других условий не позволяют использовать это правило, сертифицирующий орган после получения достаточных технических доказательств, подтверждающих получение равноценных результатов с помощью альтернативного правила, может его утвердить.



$EI$  – ИНДЕКС ЭМИССИИ.  
 $T_B$  – ТЕМПЕРАТУРА НА ВХОДЕ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ.  
 $W_f$  – МАССОВЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА.  
 $F$  – ТЯГА ДВИГАТЕЛЯ.  
 $\pi$  – СТЕПЕНЬ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ.

Рис. А5-3. Порядок расчета



## ДОПОЛНЕНИЕ А К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ НС

*Примечание 1. Как указано в п. 5.2 добавления 5, чувствительным элементом этого анализатора является пламеионизационный детектор (FID), в котором весь объем пробы газа или его репрезентативная часть впрыскивается в водородное пламя. При соответствующем расположении электродов может быть определен ионизационный ток, который зависит от массового расхода углеводорода, вводимого в пламя. Этот ток, за вычетом тока ионизации, соответствующего отсутствию ввода пробы в пламя, усиливается, чтобы получить результирующую характеристику, служащую мерой концентрации углеводородов, выраженной через эквивалентное число ppmC.*

*Примечание 2. Информацию о тарировочных и испытательных газах см. в дополнении D.*

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно большую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений учитывается возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

Подлежащий использованию прибор обеспечивает поддержание в нем заданной температуры детектора и частей, вступающих в непосредственный контакт с пробой газа, в интервале 155–165 °C при стабильности  $\pm 2$  °C. При условии, что чувствительность детектора является оптимальной и прибор в целом стабилизирован, к основным техническим характеристикам относятся следующие:

- a) *Полный диапазон измерения:* 0–500 ppmC в соответствующих интервалах измерения.
- b) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 0,5 ppmC, в зависимости от того, что больше.
- c) *Повторяемость:* не хуже  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 0,5$  ppmC, в зависимости от того, что больше.
- d) *Стабильность:* не хуже  $\pm 2$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 1,0$  ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- e) *Дрейф нуля:* менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 0,5$  ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- f) *Шумы:* 0,5 Гц и больше, менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 0,5$  ppmC, в зависимости от того, что больше.
- g) *Время срабатывания:* не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.

- h) *Линейность*: зависимость выходного сигнала от состава воздушно-пропановой смеси является линейной в каждом интервале измерения в пределах  $\pm 2$  % от диапазона измерений прибора, в противном случае вводятся тарировочные поправки.

## 2. СИНЕРГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

*Примечание. В процессе проведения испытаний на точность измерения могут влиять два нижеуказанных аспекта характеристик:*

- a) *кислородный эффект (когда различные пропорции кислорода, присутствующего в пробе, обуславливают различные индикаторные концентрации углеводорода при его постоянной фактической концентрации) и*
- b) *относительная реакция на углеводород (когда имеет место различная реакция на концентрацию углеводородов в одной и той же пробе, выраженную через эквивалентное число ppmC, которое зависит от класса или примеси различных классов углеводородных соединений).*

*Степень отмеченного выше влияния определяется, как указано ниже, и соответственно ограничивается.*

*Реакция на кислород:* измерить реакцию на две следующие смеси пропана с содержанием приблизительно 500 ppmC, определенным с относительной точностью до  $\pm 1$  %:

- 1) смесь пропана с  $10 \% \pm 1 \% \text{O}_2$  (остальное  $\text{N}_2$ ),
- 2) смесь пропана с  $21 \% \pm 1 \% \text{O}_2$  (остальное  $\text{N}_2$ ),

Если  $R_1$  и  $R_2$  – соответствующие значения нормализованной реакции, то  $(R_1 - R_2)$  меньше 3 %  $R_1$ .

*Дифференциальная реакция прибора на углеводород:* измерить реакцию прибора на четыре следующие смеси различных углеводородов в воздухе с концентрацией приблизительно 500 ppmC с относительной точностью до  $\pm 1$  %:

- a) пропан в нулевом воздухе,
- b) пропилен в нулевом воздухе,
- c) толуол в нулевом воздухе,
- d) n-гексан в нулевом воздухе.

Если  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  и  $R_d$  – соответствующие нормализованные реакции прибора на пропан, то  $(R_a - R_b)$ ,  $(R_a - R_c)$  и  $(R_a - R_d)$ , каждая разность в отдельности, меньше 5 %  $R_a$ .

## 3. ОПТИМАЛЬНАЯ РЕАКЦИЯ ДЕТЕКТОРА И РЕГУЛИРОВКА

3.1 Соблюдаются инструкции изготовителя о порядке первоначальной настройки и о требуемом вспомогательном обслуживании в обеспечении; необходимо обеспечить стабилизацию прибора. Регулировка настройки включает в себя периодическую проверку установки на нуль и, при необходимости, введение поправок. Используя в качестве пробы воздушно-пропановую смесь с концентрацией пропана приблизительно 500 ppmC, для выбора оптимального прибора определяется его реакция на изменение сначала расхода топлива, а затем при расходе

топлива, близком к оптимальному, реакция на изменение расхода воздуха в горелку. После этого определяется реакция прибора на кислород и дифференциальная реакция на углеводород, как указано выше.

3.2 Линейность каждого диапазона измерения анализатора проверяется с помощью проб воздушно-пропановой смеси, концентрация которой соответствует отклонению стрелки прибора приблизительно на 30, 60 и 90 % всего диапазона измерения прибора. Максимальное отклонение любого из этих показаний от прямой линии наименьших квадратов, соединяющей данные точки с нулем, не превышает  $\pm 2$  % от всего диапазона измерения прибора. Если отклонение превышает эту величину, строится тарировочная кривая для эксплуатационного использования.

— — — — —





## ДОПОЛНЕНИЕ В К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРАМ СО И СО<sub>2</sub>

*Примечание 1. В п. 5.3 добавления 5 приводятся характеристики анализирующей подсистемы, подлежащей применению при отдельных измерениях концентрации СО и СО<sub>2</sub> в пробе выхлопных газов. Приборы основаны на принципе недисперсионного поглощения инфракрасного излучения в параллельных элементах, заполненных эталонным и отобранном газом. Требуемые диапазоны чувствительности определяются путем использования ряда элементов, чувствительных к отобранному газу, путем изменения электронной схемы, или обоими способами. Влияние газов, имеющих перекрывающиеся полосы поглощения, может быть сведено к минимуму с помощью газопоглощающих фильтров и (или) оптических фильтров (предпочтительнее с помощью последних).*

*Примечание 2. Информацию о тарировочных и испытательных газах см. в дополнении D.*

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно большую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений учитывается возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

К основным техническим характеристикам относятся следующие:

### *Анализатор СО*

- a) *Полный диапазон измерения:* 0–2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.
- b) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- c) *Повторяемость:* не хуже  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 2$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- d) *Стабильность:* не хуже  $\pm 2$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 2$  ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- e) *Дрейф нуля:* менее  $\pm 1\%$  от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 2$  ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- f) *Шум:* 0,5 Гц и больше; менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 1$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- g) *Интерференция:* должна быть ограничена следующим образом в зависимости от зарегистрированной концентрации СО при:
  - 1) менее 500 ppm на каждый процент концентрации этилена;
  - 2) менее 2 ppm на каждый процент концентрации СО<sub>2</sub>;

- 3) менее 2 ppm на каждый процент концентрации водяных паров\*.

Если интерференция для CO<sub>2</sub> и (или) водяных паров не может быть ограничена в таких пределах, определяются, сообщаются и вводятся соответствующие поправочные коэффициенты.

*Примечание. В соответствии с общепринятой практикой рекомендуется применять такую методику коррекции во всех случаях.*

#### Анализатор CO<sub>2</sub>

- a) *Полный диапазон измерения:* 0–10 % в соответствующих интервалах измерения.
- b) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 100 ppm, в зависимости от того, что больше.
- c) *Повторяемость:* не хуже  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 100$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- d) *Стабильность:* не хуже  $\pm 2$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 100$  ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- e) *Дрейф нуля:* менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 100$  ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- f) *Шум:* 0,5 Гц и больше; менее  $\pm 1$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 100$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- g) Проверяется влияние кислорода (O<sub>2</sub>) на чувствительность анализатора CO<sub>2</sub>. При изменении содержания O<sub>2</sub> от 0 до 21 % чувствительность при данной концентрации CO<sub>2</sub> не должна меняться более чем на 2 % от показания. Если данное ограничение невозможно выполнить, то применяется соответствующий коэффициент коррекции.

*Примечание. В соответствии с общепринятой практикой рекомендуется применять такую методику коррекции во всех случаях.*

#### Анализаторы CO и CO<sub>2</sub>

- a) *Время срабатывания:* не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- b) *Температура пробы газа:* нормальным режимом работы является анализ пробы газа в необработанном, "влажном" состоянии. Для этого необходимо, чтобы элемент, заполненный отобраным газом, и другие компоненты этой подсистемы, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, сохраняли постоянную температуру не менее 50 °С при стабильности  $\pm 2$  °С. Допускается измерение CO и CO<sub>2</sub> в сухом состоянии (с использованием соответствующих водоотделителей); в этом случае разрешается использовать ненагретые анализаторы, при этом нет необходимости определять пределы интерференции для паров H<sub>2</sub>O, однако требуется введение поправок на влажность окружающего воздуха и на содержание водяных паров в продуктах горения.

---

\* Нет необходимости применять в случае проведения измерений в "сухом" состоянии.

## с) Калибровочные кривые:

- i) Анализаторы с линейными характеристиками выходного сигнала проверяются во всех рабочих диапазонах с использованием калибровочных газов в известных концентрациях примерно 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы. Максимальное отклонение характеристик срабатывания анализатора в любой из этих точек от прямой линии, подобранной по методу наименьших квадратов для этих точек и нулевого показания, не превышает  $\pm 2$  % от величины полной шкалы. Если это не обеспечивается, то строится калибровочная кривая для практического применения.
- ii) Для анализаторов с нелинейными характеристиками выходного сигнала, а также для тех анализаторов, которые не отвечают приведенным выше требованиям к линейности, подготавливаются калибровочные кривые, построенные для всех рабочих диапазонов с использованием калибровочных газов в известных концентрациях примерно 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы. При необходимости используются дополнительные смеси для точного определения вида кривой.

— — — — —



## ДОПОЛНЕНИЕ С К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ NO<sub>x</sub>

*Примечание. Информацию о тарировочных и испытательных газах см. в дополнении D.*

1. Как указано в п. 5.4 добавления 5, измерение содержания окислов азота осуществляется по методу хемилюминесценции, с помощью которого измеряется излучение, выделяемое при реакции NO и O<sub>3</sub>. Этот метод не обеспечивает точного определения NO<sub>2</sub>, поэтому прежде чем измерить общее содержание NO<sub>x</sub>, пробу газа пропускают через конвертер, в котором NO<sub>2</sub> преобразуется в NO. Регистрируется как первоначальное содержание NO, так и общее содержание NO<sub>x</sub>. Таким образом, содержание NO<sub>2</sub> определяется по разнице.

2. Подлежащий использованию прибор включает в себя все необходимые компоненты, регулирующие расход, например регуляторы, клапаны, расходомеры и т. д. Материалы, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, обладают способностью противостоять воздействию окислов азота, например нержавеющая сталь, стекло и т. д. Температура отобранных газов везде выдерживается в пределах, соответствующих местному давлению, с тем чтобы исключить возможность конденсации воды.

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно большую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений необходимо учитывать возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

3. К основным техническим характеристикам, определяемым для прибора, работающего при температуре окружающей среды, стабильной в пределах 2 °C, относятся следующие:

- a) *Полный диапазон измерения:* 0 – 2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.
- b) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- c) *Повторяемость:* не хуже ±1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ±1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- d) *Стабильность:* не хуже ±2 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ±1 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- e) *Дрейф нуля:* менее ±1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ±1 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- f) *Шум:* 0,5 Гц и больше; менее ±1,0 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ±1 ppm в течение 2 ч, в зависимости от того, что больше.
- g) *Интерференция:* влияние для отобранных газов, содержащих CO<sub>2</sub> и водяные пары, ограничивается следующим образом:

- менее 0,05 % от показания прибора на каждый процент содержания  $\text{CO}_2$ ;
- менее 0,1 % от показания прибора на каждый процент содержания водяных паров.

Если интерференция для  $\text{CO}_2$  и (или) водяных паров не может быть ограничена в таких пределах, определяются, сообщаются и вводятся соответствующие поправочные коэффициенты.

*Примечание. В соответствии с общепринятой практикой рекомендуется применять такую методику коррекции во всех случаях.*

- h) *Время срабатывания:* не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- i) *Линейность:* не хуже  $\pm 2$  % от всего используемого диапазона измерения прибора или  $\leq 2$  ppm, в зависимости от того, что больше.
- j) *Конвертер:* проектируется и эксплуатируется таким образом, что содержащаяся в пробе  $\text{NO}_2$  эффективно преобразуется в NO. Конвертер не воздействует на NO, первоначально содержащуюся в пробе.

Коэффициент полезного действия (кпд) конвертера составляет не менее 90 %.

Это значение кпд используется для приведения изменяемого количества  $\text{NO}_2$ , содержащегося в пробе (т. е.  $[\text{NOx}]_c - [\text{NO}]$ ), к тому количеству, которое было бы получено, если бы кпд не составлял 100 %.

— — — — —

## ДОПОЛНЕНИЕ D К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТАРИРОВОЧНЫЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ГАЗЫ

**Таблица тарифовочных газов**

<i>Анализатор</i>	<i>Газ</i>	<i>Точность *</i>
HC	пропан в нулевом воздухе	$\pm 2$ % или $\pm 0,05$ ppm**
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> в нулевом воздухе	$\pm 2$ % или $\pm 100$ ppm**
CO	CO в нулевом воздухе	$\pm 2$ % или $\pm 2$ ppm**
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> в нулевом азоте	$\pm 2$ % или $\pm 1$ ppm

\* Берется в 95 %-ном доверительном интервале.  
 \*\* В зависимости от того, что больше.

Вышеуказанные газы требуются для проведения обычной тарировки анализаторов во время нормального рабочего использования.

**Таблица испытательных газов**

<i>Анализатор</i>	<i>Газ</i>	<i>Точность *</i>
HC	пропан (10 $\pm$ 1) % O <sub>2</sub> в равновесии с нулевым азотом	$\pm 1$ %
HC	пропан в (21 $\pm$ 1) % O <sub>2</sub> в равновесии с нулевым азотом	$\pm 1$ %
HC	пропилен в нулевом воздухе	$\pm 1$ %
HC	толуол в нулевом воздухе	$\pm 1$ %
HC	n-гексан в нулевом воздухе	$\pm 1$ %
HC	пропан в нулевом воздухе	$\pm 1$ %
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> в нулевом воздухе	$\pm 1$ %
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> в нулевом азоте	$\pm 1$ %
CO	CO в нулевом воздухе	$\pm 1$ %
NO <sub>x</sub>	NO в нулевом азоте	$\pm 1$ %

\* Берется в 95 %-ном доверительном интервале.

Вышеуказанные газы требуются для проведения испытаний, описываемых в дополнениях А, В и С.

Тарировочные газы окиси углерода в двуокиси углерода могут смешиваться отдельно или в виде двухкомпонентных смесей. Трехкомпонентные смеси окиси углерода, двуокиси углерода и пропана в нулевом воздухе могут использоваться в том случае, если обеспечивается стабильность смеси.

Нулевым газом для анализатора CO, CO<sub>2</sub> и HC является нулевой воздух (который представляет собой "искусственный" воздух, состоящий из смеси 20–22 % O<sub>2</sub> с N<sub>2</sub>). Для анализатора NO<sub>x</sub> в качестве нулевого газа применяется нулевой азот. Содержание примесей в обоих типах нулевого газа ограничивается следующими величинами:

1 ppm C,  
1 ppm CO,  
100 ppm CO<sub>2</sub>,  
1 ppm NO<sub>x</sub>.

Подающий заявку обеспечивает, чтобы поставляемые ему технические газы фактически соответствовали данным требованиям или чтобы это соответствие гарантировалось поставщиком.

\_\_\_\_\_



## ДОПОЛНЕНИЕ Е К ДОБАВЛЕНИЮ 5. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭМИССИИ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВНЕСЕНИЕ ПОПРАВОК В РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ЧИСЛОВОЙ МЕТОД

### 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$AFR$	– отношение воздуха к топливу. Отношение массового расхода сухого воздуха к массовому расходу топлива;
$EI$	– индекс эмиссии; $10^3 \times$ массовый расход газообразного продукта эмиссии на выхлопе/удаленный массовый расход топлива;
$K$	– отношение концентрации, измеренной во влажных условиях, к концентрации, измеренной в сухих условиях (после холодного паросепаратора);
$L, L'$	– коэффициент интерференции анализатора для интерференции $CO_2$ ;
$M, M'$	– коэффициент интерференции анализатора для интерференции $H_2O$ ;
$M_{\text{воздуха}}$	– молекулярная масса сухого воздуха равна 28,966 г или, где удобно, равна $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ г;
$M_{CO}$	– молекулярная масса $CO$ равна 28,011 г;
$M_{HC}$	– молекулярная масса характеристического выхлопного углеводорода, принятого за $CH_4$ , равна 16,043 г;
$M_{NO_2}$	– молекулярная масса $NO_2$ равна 46,008 г;
$M_C$	– масса атома углерода равна 12,011 г;
$M_H$	– масса атома водорода равна 1,008 г;
$P_1$	– количество молей $CO_2$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_2$	– количество молей $N_2$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_3$	– количество молей $O_2$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_4$	– количество молей $H_2O$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_5$	– количество молей $CO$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_6$	– количество молей $C_xH_y$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_7$	– количество молей $NO_2$ в выхлопной пробе на моль топлива;
$P_8$	– количество молей $NO$ в выхлопной пробе на моль топлива;

$P_T$	– $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$ ;
$R$	– концентрация $O_2$ в сухом воздухе по объему обычно равна 0,2095;
$S$	– концентрация $N_2$ + редкие газы в сухом воздухе по объему равна 0,7902;
$T$	– концентрация $CO_2$ в сухом воздухе по объему обычно равна 0,0003;
$P_0$	– количество молей воздуха на моль топлива в начальной смеси воздух/топливо;
$Z$	– условное обозначение, используемое и определенное в п. 3.4;
$[CO_2]$	– средняя концентрация $CO_2$ в выхлопной пробе (объем/объем);
$[CO]$	– средняя концентрация $CO$ в выхлопной пробе (объем/объем);
$[HC]$	– средняя концентрация углеводорода выхлопной пробе (объем/объем);
$[NO]$	– средняя концентрация $NO$ в выхлопной пробе (объем/объем);
$[NO_2]$	– средняя концентрация $NO_2$ в выхлопной пробе (объем/объем);
$[NOx]$	– средняя концентрация $NO$ и $NO_2$ в выхлопной пробе (объем/объем);
$[NOx]_c$	– средняя концентрация $NO$ в выхлопной пробе после прохождения через конвертер $NO_2/NO$ (объем/объем);
$[NO_2]$	– среднее значение $= \frac{([NOx]_c - [NO])}{\eta}$ ;
$[ ]_d$	– средняя концентрация в выхлопной пробе после холодного паросепаратора (объем/объем);
$[ ]_m$	– средняя измеренная концентрация до введения инструментальной поправки (объем/объем);
$h_{vol}$	– влажность окружающего воздуха (объем воды/объем сухого воздуха);
$h_d$	– влажность выхлопной пробы на выходе "сушильной установки" или "холодильного паросепаратора" (объем воды/объем сухой пробы);
$m$	– количество атомов $C$ в характеристической молекуле топлива;
$n$	– количество атомов $H$ в характеристической молекуле топлива;
$x$	– количество атомов $C$ в характеристической молекуле выхлопного углеводорода;
$y$	– количество атомов $H$ в характеристической молекуле выхлопного углеводорода;
$\eta$	– КПД конвертера $NO_2/NO$ .

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ EI И AFR

2.1 Предполагается, что баланс между первоначальным состоянием топливно-воздушной смеси и результирующим состоянием отобранной выхлопной эмиссии может быть выражен с помощью следующего уравнения:

$$C_m H_n + P_0[R(O_2) + S(N_2) + T(CO_2) + h_{vol}(H_2O)] = P_1(CO_2) + P_2(N_2) + P_3(O_2) + P_4(H_2O) + P_5(CO) + P_6(C_x H_y) + P_7(NO_2) + P_8(NO),$$

из которого требуемые параметры могут быть определены как

$$EI(CO) = P_5 \left( \frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$EI(HC) = xP_6 \left( \frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) - \text{выражен как эквивалент метана};$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left( \frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) - \text{выражен как эквивалент } NO_2;$$

$$AFR = P_0 \left( \frac{M_{ВОЗДУХА}}{mM_C + nM_H} \right).$$

2.2 Величины углеводородного состава топлива ( $m$ ,  $n$ ) определяются спецификацией топлива или путем анализа. Если таким образом определено только отношение  $n/m$ , может устанавливаться величина  $m = 12$ . Обычно грамм-молекулярные части составляющих сухого воздуха ( $R$ ,  $S$ ,  $T$ ) берутся равными рекомендуемому стандартным величинам, однако могут устанавливаться альтернативные величины при соблюдении ограничения  $R + S + T = 1$  и при утверждении полномочным сертифицирующим органом.

2.3 Влажность окружающего воздуха,  $h_{vol}$ , измеряется в каждом режиме испытаний. Рекомендуется, чтобы при отсутствии доказательств противного для характеристик ( $x$ ,  $y$ ) выхлопного углеводорода устанавливались величины  $x = 1$  и  $y = 4$ .

2.4 Для определения остальных неизвестных величин требуется решить следующую систему линейных уравнений, из которых уравнения (1) – (4) вытекают из основных законов сохранения атомной массы, а уравнения (5) – (9) представляют зависимость концентрации газообразных продуктов.

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2hP_0 = 2P_4 + yP_6 \dots\dots\dots (2)$$

$$(2R + 2T + h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$[HC] P_T = xP_6 \dots\dots\dots (7)$$

$$[\text{NOx}]_c P_T = \square P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[\text{NO}] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

Вышеуказанная система условных уравнений относится к тому случаю, когда все измеренные концентрации являются истинными, т. е. не подвержены влиянию интерференции и нет необходимости вносить поправки на высушивание пробы. На практике обычно наблюдается значительное влияние интерференции при замерах CO, NOx и NO и часто используется возможность замера CO<sub>2</sub> и CO на сухой или частично сухой основе. Необходимые преобразования соответствующих уравнений описаны в пп. 2.5 и 2.6.

2.5 Эффекты интерференции в основном обусловлены наличием CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в пробе, которые могут совершенно различным образом повлиять на работу анализаторов CO и NOx. Анализатор CO подвержен эффекту смещения нуля, а анализатор NOx – изменения чувствительности, что учитывается следующими выражениями:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L [\text{CO}_2] + M [\text{H}_2\text{O}]$$

и

$$[\text{NOx}]_c = [\text{NOx}]_{cm} (1 + L' [\text{CO}_2] + M' [\text{H}_2\text{O}]),$$

которые преобразуют в следующие уравнения, альтернативные уравнениям (6), (8) и (9), если необходимо внести поправки на влияние интерференции:

$$[\text{CO}]_m P_T + L P_1 + M P_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NOx}]_{cm} (P_T + L \square P_1 + M \square P_4) = \square P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L \square P_1 + M \square P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 Альтернативный замер концентраций CO<sub>2</sub> и CO на сухой или частично сухой основе пробы, т. е. с пониженной до  $h_d$  влажностью пробы, требует применения следующих преобразованных условных уравнений:

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

и

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5.$$

Однако, как описано в п. 2.5, анализатор CO может также подвергаться влиянию интерференции, поэтому полное альтернативное уравнение для замера концентрации CO принимает вид:

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + L P_1 + M h_d (P_T - P_4) = P_5 \dots\dots\dots (6B)$$

### 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ

#### 3.1 Общие положения

Уравнения (1) – (10) могут быть преобразованы в аналитические выражения для параметров EI и AFR, как показано в п. 7.1 настоящего дополнения. Это преобразование представляет собой процесс постепенного исключения корней  $P_o, P_1-P_8, P_T$ , при этом допуская, что все замеры концентрации определены для "влажной" пробы и не требуют внесения поправок на интерференцию или других аналогичных поправок. На практике часто используется возможность выбора проводить замеры концентрации  $CO_2$  и CO на "сухой" или "полусухой" основе; также часто возникает необходимость вносить поправки на интерференцию. Выражения для использования в этих различных условиях приведены в пп. 3.2, 3.3 и 3.4.

#### 3.2 Уравнение приведения результатов замеров сухой концентрации к концентрации на влажной основе

Влажная концентрация =  $K \times$  сухая концентрация, т. е.

$$[ ] = K [ ]_d.$$

Если CO и  $CO_2$  определены на "сухой" основе, используется следующее выражение для  $K$ :

$$K = \frac{\{4 + (n/m)T + ([n/m]T - 2h_{vol})([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol})([y/x] - [n/m])[HC]\}(1 + h_d)}{(2 + h_{vol})\{2 + (n/m)(1 + h_d)([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m]T - 2h_{vol})(1 - [1 + h_d][CO]_d)}.$$

#### 3.3 Поправка на интерференцию

В результате замеров CO и(или) NOx и NO, возможно, потребуются вносить поправки на интерференцию  $CO_2$  пробы и концентрации воды до использования в аналитических уравнениях выше. Такие поправки обычно могут выражаться следующими путями:

$$[CO] = [CO]_m + L [CO_2] + M [H_2O];$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M \left( \frac{h_d}{1 + h_d} \right)$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L' [CO_2] + M' [H_2O]);$$

$$\eta[NO_2] = ([NOx]_{cm} - [NO]_m (1 + L' [CO_2] + M' [H_2O])).$$

### 3.4 Уравнение определения содержания воды в пробе

Концентрация воды в пробе

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + h_{vol}[P_0/m]) ([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + T(P_0/m)} - (y/2x) [HC],$$

где

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

и

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x]) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

Следует отметить, что такое определение концентрации воды является функцией различных данных анализа концентрации, которые сами могут нуждаться в коррекции на интерференцию воды. В этих случаях для получения большей точности необходимы повторные замеры с последующим пересчетом концентрации воды до тех пор, пока не будет получена требуемая стабильность результатов. Этого не требуется при использовании альтернативного, числового метода решения (4).

## 4. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД: ЧИСЛОВОЕ РЕШЕНИЕ

4.1 В качестве альтернативы аналитическому методу, изложенному в п. 3, индексы эмиссии, отношение воздуха к топливу, скорректированные концентрации во влажных условиях и т. д. можно легко получить путем числового решения уравнений (1) – (10) для каждой серии замеров на цифровой вычислительной машине.

4.2 Для учета поправок на интерференцию и (или) измерений высушенных проб в системе уравнений (1) – (10) фактические результаты замеров концентрации заменены теми альтернативными уравнениями (5A), (6A) и т. д., которые приемлемы для конкретной измерительной системы.

4.3 Подходящие простые машинные программы с двумерным массивом для решения уравнений широко распространены, они удобны и гибки в использовании для указанных целей и позволяют легко вводить и определять любые методы высушивания проб, поправки на интерференцию или другие поправки.

-----

## ДОПОЛНЕНИЕ F К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТРЕБОВАНИЯ В ОТНОШЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

В соответствии с требованиями, изложенными в п. 3.2 добавления 5, кроме измеренной концентрации компонентов отобранного газа, требуются также следующие данные:

- a) температура на входе: измеряется полная температура с точностью  $\pm 0,5$  °C в точке, расположенной от входного сечения воздухозаборника двигателя в пределах одного его диаметра;
- b) влажность на входе (кг воды/кг сухого воздуха): измеряется на расстоянии в пределах 15 м по оси входного сечения воздухозаборника двигателя с точностью  $\pm 5$  %;
- c) атмосферное давление: измеряется в пределах 1 км от места испытания двигателя с точностью  $\pm 100$  Па; при необходимости вводится поправка на высоту испытательного стенда;
- d) массовый расход топлива: прямое измерение с точностью  $\pm 2$  %;
- e) отношение Н/С топлива: определяется отношением  $n/m$ , где  $C_m H_n$  – эквивалентное углеводородное представление топлива, используемого в испытании и определяемого на основе анализа топлива двигателя;
- f) параметры двигателя:
  - 1) тяга: прямое измерение с точностью  $\pm 1$  % на режиме взлетной тяги и  $\pm 5$  % при минимальной тяге, используемой при сертификационных испытаниях, с линейным изменением между этими величинами;
  - 2) скорость вращения ротора: прямое измерение с точностью по крайней мере  $\pm 0,5$  %;
  - 3) расход воздуха в газогенераторе: определяется с точностью  $\pm 2$  % на основе тарировки характеристик двигателя.

Параметры, указанные в подпунктах a), b), d) и f), определяются в начале каждого испытания на эмиссию двигателей, в то время как параметр, указанный в подпункте c), определяется с интервалом не менее чем 1 ч в период испытаний на эмиссию.

---





## **ДОБАВЛЕНИЕ 6. ПОРЯДОК ДЕМОНСТРАЦИИ СООТВЕТСТВИЯ ПО ЭМИССИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ, ЭМИССИИ ДЫМА И ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ**

### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1 При соблюдении нормативных уровней, указанных в пп. 2.2, 2.3, 3.2, 3.3 и 4.2 части III, придерживаются следующих общих принципов:

- a) изготовителю разрешается выбирать для сертификационного испытания любое количество двигателей и даже, если он желает, представить для этого только один двигатель;
- b) все полученные во время сертификационных испытаний результаты принимаются во внимание сертифицирующим полномочным органом;
- c) по крайней мере проводится три испытания двигателя; если представлен только один двигатель для сертификации, он должен быть опробован по крайней мере три раза;
- d) если данный двигатель ( $i$ ) опробован несколько раз, то среднее арифметическое значений ( $X_i$ ), полученных во время испытаний, считается средней величиной для этого двигателя ( $i$ ). После этого результатом сертификации считается среднее арифметическое значение величин ( $X_i$ ), полученных по каждому опробованному двигателю;
- e) изготовитель представляет полномочному сертифицирующему органу информацию, указанную соответственно в п. 2.4, 3.4, 4.2 и/или 4.3 части III;
- f) представленные для испытаний двигатели имеют эмиссионные характеристики, которые в целом типичны для сертифицируемого типа двигателя. Однако по крайней мере один из двигателей должен в значительной мере соответствовать конфигурации серийного образца данного типа двигателя и обладать всеми типичными эксплуатационными и техническими характеристиками. Этот двигатель заявляется в качестве исходного стандартного двигателя. Методы внесения поправок в этот исходный стандартный двигатель относительно любых других опробованных двигателей утверждаются национальным полномочным сертифицирующим органом. Методы внесения поправок в результаты испытаний относительно окружающих условий приводятся соответственно в разделе 7 добавления 3 и п. 7 добавления 5 или п. 6 добавления 7.

### **2. ПОРЯДОК ДЕМОНСТРАЦИИ СООТВЕТСТВИЯ**

#### **2.1 Газообразная эмиссия и число дымности**

Сертифицирующий полномочный орган выдает сертификат о соответствии нормам, если среднее значение измеренных и скорректированных величин (относительно исходного стандартного двигателя и исходных атмосферных условий) для всех опробованных двигателей при переводе в характерный уровень с использованием соответствующего коэффициента, определенного, как указано в таблице A6-1, числом опробованных двигателей ( $i$ ), не превышает нормативного уровня.

*Примечание.* Как указано в таблице А6-1, характерный уровень числа дымности или газообразной эмиссии является средним значением величин, полученных при опробовании всех двигателей, а в отношении только газообразной эмиссии – соответственно скорректированным относительно исходного стандартного двигателя и исходных атмосферных условий значением, разделенным на коэффициент, соответствующий числу опробованных двигателей.

## 2.2 Эмиссия твердых частиц

Сертифицирующий полномочный орган выдает сертификат о соответствии нормам, если средние измеренные, с поправками на термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб максимальные значения массовой концентрации нЛТЧ для всех опробованных двигателей при переводе в характерный уровень с использованием соответствующего коэффициента, определенного, как указано в таблице А6-1, числом опробованных двигателей ( $i$ ), не превышают нормативного уровня.

*Примечание* Как указано в таблице А6-1, характерный уровень максимальной массовой концентрации нЛТЧ является средним значением максимальных величин, полученных при опробовании всех двигателей, в котором соответственно учтена поправка на термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб, разделенным на коэффициент, соответствующий числу опробованных двигателей.

## 2.3 Характерный уровень

Коэффициенты, необходимые для определения характерных уровней эмиссии двигателей, приводятся в таблице А6-1.

**Таблица А6-1. Коэффициенты для определения характерных уровней**

Количество опробованных двигателей ( $i$ )	СО	НС	NO <sub>x</sub>	SN	Массовая концентрация нЛТЧ
1	0,814 7	0,649 3	0,862 7	0,776 9	0,776 9
2	0,877 7	0,768 5	0,909 4	0,852 7	0,852 7
3	0,924 6	0,857 2	0,944 1	0,909 1	0,909 1
4	0,934 7	0,876 4	0,951 6	0,921 3	0,921 3
5	0,941 6	0,889 4	0,956 7	0,929 6	0,929 6
6	0,946 7	0,899 0	0,960 5	0,935 8	0,935 8
7	0,950 6	0,906 5	0,963 4	0,940 5	0,940 5
8	0,953 8	0,912 6	0,965 8	0,944 4	0,944 4
9	0,956 5	0,917 6	0,967 7	0,947 6	0,947 6
10	0,958 7	0,921 8	0,969 4	0,950 2	0,950 2
Более 10	$1 - \frac{0,130\ 59}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,247\ 24}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,096\ 78}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,157\ 36}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,157\ 36}{\sqrt{i}}$

### 3. ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ В СЛУЧАЕ НЕСООТВЕТСТВИЯ

*Примечание. Если сертификационное испытание окончилось неудачей, это не обязательно означает, что данный тип двигателя не отвечает требованиям, а скорее то, что уровень достоверности, определенный сертифицирующему органу при установлении соответствия, недостаточно высок, т. е. менее чем 90 %. Поэтому изготовителю разрешается предоставлять дополнительные доказательства соответствия данного типа двигателей.*

3.1 Если тип двигателя не проходит сертификационное испытание, то сертифицирующий орган разрешает изготовителю по его желанию провести дополнительные испытания для сертификации двигателей. Если общие результаты по-прежнему показывают, что данный тип двигателя не отвечает сертификационным требованиям, то изготовителю разрешается провести испытания любого количества дополнительных двигателей. После этого итоговые данные испытаний сравниваются с ранее полученными данными.

3.2 Если результаты опять говорят о неудаче, то изготовителю разрешается выбрать один или большее количество двигателей с целью их модификации. После этого результаты проведенных испытаний выбранного(ых) двигателя(ей) до модификации анализируются, и дальнейшие испытания проводятся таким образом, чтобы их количество составляло по крайней мере три. Исходя из результатов этих испытаний определяется среднее значение для каждого двигателя, и оно считается "средним значением до модификации".

3.3 После этого двигатель(и) может (могут) быть модифицирован(ы) и затем проводится по крайней мере три испытания модифицированного(ых) двигателя(ей), и среднее значение результатов этих испытаний будет считаться в каждом случае "средним значением после модификации". Это "среднее значение после модификации" затем сравнивается со "средним значением до модификации" с целью установления соответствующего улучшения, которое затем учитывается в результатах предыдущих сертификационных испытаний с целью определения, достигнуто ли необходимое соответствие. До начала испытаний любого модифицированного двигателя определяется соответствие произведенных модификаций надлежащим требованиям летной годности.

3.4 Эта процедура повторяется до тех пор, пока данный двигатель не покажет надлежащее соответствие или пока не будет снята заявка на сертификацию этого типа двигателя.



## ДОБАВЛЕНИЕ 7. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ НЕЛЕТУЧИХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

### 1. ВВЕДЕНИЕ

*Примечание. Приведенные в настоящем добавлении процедуры содержат рекомендации относительно получения представительных проб нелетучих твердых частиц (нлТЧ), присутствующих в выхлопных газах газотурбинных двигателей, а также их подачи в систему отбора проб и измерения нлТЧ и анализа в этой системе. Указанные процедуры не применяются к двигателям с форсажной камерой.*

Любые процедуры, эквивалентные содержащимся в настоящем добавлении, разрешается применять только после их предварительного представления сертифицирующему органу и утверждения им.

### 2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, АКРОНИМЫ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

#### 2.1 Определения

В тех случаях, когда в настоящем добавлении употребляются приведенные ниже термины, они имеют следующие значения:

**Аэродинамический диаметр частицы.** Диаметр сферической частицы с относительной плотностью, равной плотности единицы, которая имеет такую же конечную скорость осаждения, как и искомая частица, также называемый "классический аэродинамический диаметр".

**Время нарастания.** Время, требуемое для изменения выходного сигнала с 10 до 90 % диапазона окончательного колебания выходного сигнала при резком введении эталонного материала в автоматизированную систему измерения, первоначально находящуюся в исходном состоянии. (Данный термин применяется только к онлайн-анализатору.).

**Диаметр электрической подвижности частицы.** Диаметр сферической частицы, имеющей точно такую же подвижность в электрическом поле, как и искомая частица.

**Доля проникновения.** Отношение концентрации частиц ниже по потоку и выше по потоку от элемента системы отбора проб.

**Каталитический удалитель.** Каталитическое устройство, которое удаляет путем окисления летучие частицы вида.

**Компетентная лаборатория.** Испытательная и тарировочная лаборатория, которая разрабатывает, внедряет и применяет систему качества, отвечающую масштабам ее деятельности, в соответствии со стандартом ИСО/ИЕС 17025:2005 (время от времени изменяемым), и для которой предназначена и действует программа тарировки оборудования, с тем чтобы обеспечить отслеживаемость осуществляемых лабораторией измерений и тарировку до Международной системы единиц (СИ). Официальной аккредитации лаборатории по ИСО/ИЕС 17025:2005 не требуется.

**Концентрация газа.** Объемная доля представляющего интерес компонента в газовой смеси.

**Массовая концентрация частиц.** Масса частиц на единицу объема пробы.

**Массовый индекс эмиссии частиц.** Масса частиц, испускаемых на единицу расходуемой массы топлива.

**Нелетучие твердые частицы (нлТЧ).** Испускаемые частицы, присутствующие в выходной плоскости выхлопного сопла газотурбинного двигателя, которые при нагревании до температуры 350 °С не испаряются.

**Органический углерод (ОС).** Углерод испаряемый в гелии при нагревании образца фильтра из кварцевых волокон до температуры 870 °С во время анализа термооптического пропускания (ТОТ). Включает уголь, образующийся при пиролизе некоторых материалов.

**Повторяемость.** Точность, с которой измерение характеристик данного неизменяемого образца может быть воспроизведено при повторных измерениях через короткие интервалы времени без подстройки прибора.

**Потеря частиц.** Потеря частиц во время прохождения через систему отбора проб. Такая потеря имеет место из-за различных механизмов осаждения, некоторые из которых зависят от размеров.

**Разрешающая способность.** Наименьшее изменение результатов замера, которое может быть обнаружено.

**Распределение частиц по размерам.** Перечень значений математической функции, которая обозначает численную концентрацию частиц согласно их размерам.

**Реакция прибора.** Изменение выходного сигнала прибора в зависимости от изменения концентрации в пробе.

**Система качества.** Система управления, с помощью которой компетентная лаборатория документирует свою политику, системы, программы, процедуры и инструкции в той мере, в какой это необходимо для обеспечения качества испытаний и/или результатов тарировки.

**Стабильность.** Точность, с которой повторные измерения по данному неизменяемому образцу могут быть выдержаны в течение определенного промежутка времени.

**Тарировочный газ.** Эталонный газ, состав которого известен с высокой точностью, предназначенный для использования при регулировке, настройке и периодических проверках приборов.

**Точность.** Степень приближения измеренной величины к истинной величине, определенной независимо от этого измерения.

**Циклонный сепаратор.** Отделение частиц более крупного, чем установленный аэродинамический диаметр, размера за счет вращательного и гравитационного эффекта. Указанный граничный аэродинамический диаметр соотносится с процентом частиц конкретного размера, которые проникают через циклонный сепаратор.

**Частей на миллион (ppm).** Единица объемной концентрации газа на миллионную часть объема газовой смеси, в состав которой входит этот газ.

**Численная концентрация частиц.** Число частиц на единицу объема пробы.

**Численный индекс эмиссии частиц.** Число частиц, испускаемых на единицу расходуемой массы топлива.

**Элементарный углерод (ЕС).** Светопоглощающий углерод, исключая уголь, который не удаляется из образца фильтра, нагреваемого до 870 °С в инертной атмосфере во время анализа термооптического пропускания (ТОТ).

## 2.2 Акронимы

МСА	Международная стандартная атмосфера (ИСО 2533:1975)
нлТЧ	Нелетучие твердые частицы (см. определение)
нлТЧ <sub>mi</sub>	Прибор для измерения массы нелетучих твердых частиц
нлТЧ <sub>ni</sub>	Прибор для измерения числа нелетучих твердых частиц
ПТФЭ	Политетрафторэтилен
ст. л/мин	Стандартные литры в минуту (литры в минуту при STP)
CPC	Конденсационный счетчик частиц
FS	Весь диапазон измерения анализатора
GL	Газовая линия
HEPA	Высокоэффективный воздушный фильтр класса H13, который удаляет по крайней мере 99,97 % частиц диоктилфталата (0,3 мкм в диаметре)
ID	Внутренний диаметр
LOD	Предел обнаружения
NMI	Национальный метрологический институт
STP	Состояние прибора при стандартной температуре 0 °C и давлении 101,325 кПа
TOT	Термооптическое пропускание
VPR	Уловитель летучих частиц
VRE	Эффективность удаления летучих частиц

## 2.3 Условные обозначения

[CO]	средняя концентрация CO в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях)
[CO <sub>2</sub> ]	средняя концентрация CO <sub>2</sub> в неразбавленной выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях)
[CO <sub>2</sub> ] <sub>b</sub>	концентрация CO <sub>2</sub> в сухом воздухе по объему = 0,0003
[CO <sub>2</sub> ] <sub>dil</sub>	средняя газовая концентрация CO <sub>2</sub> объем/объем после первой стадии разбавления, во влажных условиях

$[\text{CO}_2]_{\text{dil2}}$	средняя газовая концентрация $\text{CO}_2$ объем/объем после второй стадии разбавления (во влажных условиях)
$[\text{CO}_2]_s$	средняя газовая концентрация $\text{CO}_2$ объем/объем в отобранной неразбавленной выхлопной пробе (влажные, полусухие или сухие условия)
DF	Коэффициент разбавления = (концентрация пробы до разбавления) / (концентрация пробы после разбавления)
	$\frac{\text{Объем неразбавленной пробы}}{\text{Объем разбавленной пробы}}$
$\text{DF}_1$	Коэффициент разбавления первой стадии = $\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}}$
$\text{DF}_{1-S}$	Коэффициент разбавления первой стадии, рассчитанный с использованием непосредственно отобранных проб $[\text{CO}_2]_s$ и $[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$
$\text{DF}_2$	Коэффициент разбавления второй стадии (VPR) согласно тарифовке компетентной лабораторией
$D_m$	Диаметр электрической подвижности нЛТЧ, мкм
$D_{xy}$ , при $z$ нм	Аэродинамический диаметр, при котором обнаружены $x\%$ (эффективность обнаружения) частиц размером $z$
$\text{EI}_{\text{mass}}$	Массовый индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на термофоретические потери, в мг/кг топлива
$\text{EI}_{\text{num}}$	Численный индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на термофоретические потери, в число/кг топлива
$[\text{HC}]$	Средняя концентрация углеводородов в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях), выраженных как углерод
$\eta_{\text{VPR}}(D_m)$	Доля проникновения частиц через VPR для частиц $D_m$
$k_{\text{thermo}}$	Поправочный коэффициент на термофоретические потери коллекторного блока
$[\text{NO}]$	Средняя концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях)
$[\text{NO}_2]$	Средняя концентрация $\text{NO}_2$ в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях)
$[\text{NO}_x]$	Средняя концентрация NO и $\text{NO}_2$ в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях = $[\text{NO}] + [\text{NO}_2]$ )
$M_C$	Масса атома углерода = 12,011
$M_H$	Масса атома водорода = 1,008
$m$	Количество атомов C в характеристической молекуле топлива
$n$	Количество атомов H в характеристической молекуле топлива
$\text{нЛТЧ}_{\text{mass}}$	Массовая концентрация нЛТЧ при состоянии прибора STP с поправкой на разбавление и термофоретические потери в коллекторной секции системы отбора проб, мкг/м <sup>3</sup>



$\text{нЛТЧ}_{\text{mass\_STP}}$	Разбавленная массовая концентрация нЛТЧ при состоянии прибора STP, $\text{мкг/м}^3$
$\text{нЛТЧ}_{\text{num\_STP}}$	Разбавленная численная концентрация нЛТЧ при состоянии прибора STP, $\text{число/см}^3$
$T_{\text{line}}$	Температура стенки линии отбора проб
$T_1$	Температура стенки на входе разбавителя, $^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{EGT}}$	Замеренная на двигателе или полученная на основании характеристик температура газа в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя, $^{\circ}\text{C}$
$t_{90}$	90%-ное время срабатывания (время между изменением концентрации на входе и показанием детектора на уровне 90 % от его конечного сигнала)
$\alpha$	Отношение атома водорода к атому углерода в топливе = $n/m$ , где $\text{C}_m\text{H}_n$ – эквивалентное углеводородное представление топлива, используемого в испытании и определяемого на основе анализа типа топлива двигателя.

### 3. ТРЕБУЕМЫЕ ДАННЫЕ

#### 3.1 Эмиссия нЛТЧ

3.1.1 Для расчета массовой и численной эмиссии нЛТЧ определяются следующие концентрации:

- масса нЛТЧ:  $\text{nvPM}_{\text{mass\_STP}}$
- число нЛТЧ:  $\text{nvPM}_{\text{num\_STP}}$
- диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ):  $[\text{CO}_2]$  и  $[\text{CO}_2]_{\text{dil}}$
- окись углерода ( $\text{CO}$ ):  $[\text{CO}]$
- углеводороды ( $\text{HC}$ ):  $[\text{HC}]$
- окислы азота ( $\text{NO}_x$ ):  $[\text{NO}_x]$ ,  $[\text{NO}]$ ,  $[\text{NO}_2]$

*Примечание. Инструктивный материал в отношении требуемых данных приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

3.1.2 В целях проверки исправности системы определяется концентрация следующей эмиссии:

диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ):  $[\text{CO}_2]_s$ .

#### 3.2 Прочая информация

Для нормализации данных измерений характеристик эмиссии и для определения испытываемых характеристик двигателя в дополнении F к добавлению 3 и в дополнении D к настоящему добавлению приводится дополнительная информация.

#### 4. ОБЩАЯ КОМПОНОВКА СИСТЕМЫ ОТБОРА ПРОБ И ИЗМЕРЕНИЯ нЛТЧ

##### 4.1 Система отбора проб и измерения нЛТЧ

4.1.1 Система отбора проб и измерения нЛТЧ состоит из трех блоков, подразделенных на пять секций:

- a) коллекторный блок (секция 1),
- b) передаточный блок (секции 2, 3 и 4),
- c) измерительный блок (секция 5).

*Примечание 1. Общий вид системы отбора проб и измерения нЛТЧ показан на рис. А7-1, а описание содержится в таблице А7-1.*

*Примечание 2. Более подробные требования и рекомендации в отношении каждой секции системы приведены в дополнениях А, В, С и Е к настоящему добавлению.*

4.1.2 Секции 1–4 отвечают следующим требованиям:

- a) Линии отбора проб имеют по возможности максимально прямоточную схему.
- b) Общая длина линии отбора проб от кончика насадки пробоотборника до входной насадки измерительного прибора не превышает 35 м. Эта общая длина не равна сумме значений максимально допустимой длины отдельных секций отбора проб. Подробные требования к длине приведены в дополнении А к настоящему добавлению и показаны на рис. А7-1.

4.1.3 **Рекомендация.** Для секций 1–4 рекомендуется следующее:

- a) Число фитингов должно быть минимальным и они должны быть изготовлены из нержавеющей стали с гладким каналом.
- b) Число переходных штуцерных фитингов должно быть минимальным и они должны быть теплоизолированы для сведения к минимуму температурных градиентов.

*Примечание. Инструктивный материал содержится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

4.1.4 Секции 2–4 отвечают следующим требованиям:

- a) Любые требуемые изгибы линии отбора проб имеют радиусы, превышающие десятикратный внутренний диаметр линии.
- b) Обращенные к потоку ступенчатые плечевые соединения не превышают 15 % от внутреннего диаметра.
- c) Изменения во внутреннем диаметре линии отбора проб, превышающие 15 %, имеют место только в месте стыка разделителя с газовым потоком.
- d) Различия во внутреннем диаметре меньше чем или равные 15 % не считаются изменением.

4.1.5 **Рекомендация.** Для секций 2–4 линию отбора проб следует интенсивно подогревать по всему фитингу. Если это практически невозможно, линию отбора проб следует подогревать как можно ближе к следующему подогреваемому элементу и термоизолировать по всему фитингу.

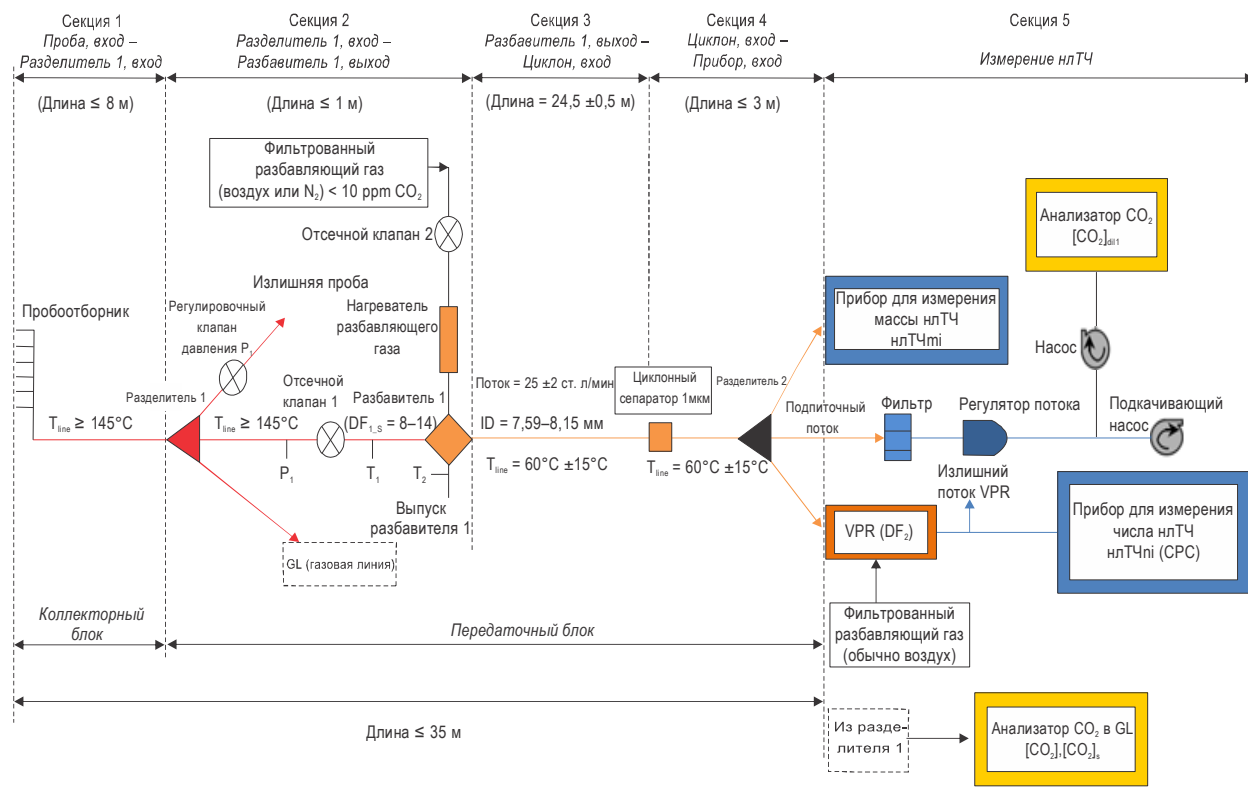


Рис. А7-1. Общая схема системы отбора проб и измерения нлТЧ

## 4.2 Коллекторный блок

4.2.1 Секция 1 состоит из оборудования пробоотборника/гребенки и линии подсоединения. Она отвечает следующим требованиям:

- В качестве материала пробоотборника применяется нержавеющая сталь или любой другой химически инертный термостойкий материал.
- При использовании пробоотборника с несколькими отверстиями для отбора проб все отверстия для отбора проб имеют одинаковый диаметр. Конструкция пробоотборника такова, чтобы по крайней мере 80 % падения давления проходящего через него потока приходилось на отверстия.
- Число точек для отбора проб составляет не менее 12.
- Плоскость отбора проб располагается настолько близко к выходной плоскости выхлопного сопла двигателя, насколько это позволяют характеристики двигателя, однако в любом случае она находится на удалении от выходной плоскости в пределах 0,5 диаметра сопла.
- Подающий заявку представляет полномочному сертифицирующему органу, с помощью подробных эюр распределения концентрации, доказательство того, что предлагаемые им конструкция и местоположение пробоотборника действительно обеспечат получение представительных проб для каждой из установленных величин тяги.

*Примечание. Инструктивный материал о методике представительных измерений приводится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Дос 9501).*

### 4.3 Передаточный блок

4.3.1 На входе в секцию 2 узел разделителя 1 разделяет пробу, направляя ее в линию передаточного блока, GL для измерения неразбавленных  $\text{CO}_2$ , CO, HC и  $\text{NO}_x$  и в линию излишнего потока проб.

*Примечание. Такая компоновка также позволяет при необходимости использовать GL для измерения числа дымыности, как указано в добавлении 2.*

4.3.2 Линия передаточного блока устроена таким образом, чтобы проба нЛТЧ:

- a) проходила через разбавитель 1 (разбавитель эжекторного типа), который всасывает, разбавляет и охлаждает пробу;
- b) проходила через секцию 3;
- c) проходила через циклонный сепаратор и разделитель 2 в секции 4 до входа в измерительный блок в секции 5.

### 4.4 Измерительный блок

#### 4.4.1 Измерение массы нЛТЧ

4.4.1.1 нЛТЧm1 отвечает требованиям в дополнении В к настоящему добавлению.

4.4.1.2 На каждую конструкцию и модель нЛТЧm1 изготовитель прибора или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что данная конструкция и модель нЛТЧm1 отвечают требованиям к характеристикам, перечисленным в таблице А7-3 дополнения В к настоящему добавлению.

#### 4.4.2 Измерение числа нЛТЧ

4.4.2.1 Численная концентрация нЛТЧ определяется с использованием системы, состоящей из соединенных последовательно уловителя летучих частиц (VPR) и конденсационного счетчика частиц (CPC) (нЛТЧni). VPR включает систему разбавления ( $\text{DF}_2$ ) и устройство для улавливания летучих видов.

4.4.2.2 На каждую конструкцию и модель VPR и CPC изготовитель прибора или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что данная конструкция и модель каждого устройства отвечают техническим требованиям к характеристикам, перечисленным в дополнении С к настоящему добавлению.

#### 4.4.3 Канал подпитки потока

- a) Для поддержания постоянной скорости потока проб через секцию 3 и для обеспечения измерения концентрации  $\text{CO}_2$  в разбавленной пробе используется канал подпитки потока.
- b) Канал подпитки потока содержит насос, регулятор потока и анализатор  $\text{CO}_2$ .
- c) **Рекомендация.** Во избежание повреждения компонентов выше по потоку от регулятора потока следует установить фракционный фильтр.

Таблица А7-1. Терминология, используемая в системе отбора проб и измерения нлГЧ

Терминология		Описание
Секция 1	Узел пробоотборника	Одноточечное или многоточечное оборудование гребенки, используемое для получения представительных проб выхлопных газов авиационного двигателя.
	Линия подсоединения	Длина трубопровода для транспортировки пробы от пробоотборника до входа разделителя 1.
Секция 2	Разделитель 1	Узел разделителя потока, позволяющий контролируемое разделение потока проб в систему отбора проб частиц и в систему отбора проб газа. Также обеспечивает поток (излишних проб) для сброса и регулирования давления в линии отбора проб.
	Регулировочный клапан давления $P_1$	Клапан, используемый для регулирования давления на входе разбавителя 1.
	$P_1$	Давление на входе разбавителя 1, регулируемое регулировочным клапаном давления, когда $P_1$ выше внешнего давления.
	$T_1$	Температура трубки отбора проб на входе разбавителя 1, необходимая для расчета поправок на термофоретические потери частиц в секциях 1 и 2.
	Отсечной клапан 1	Позволяет изолировать систему потока частиц от пробы GL и осуществлять проверки GL (включая пробоотборник) на утечку и проверку на чистоту передаточного блока.
	Отсечной клапан 2	Запорный клапан разбавляющего газа для разбавителя 1.
	Разбавитель 1	Разбавитель эжекторного типа, обеспечивающий близкое к внешнему давление на входе в секцию 3. Разбавляет пробу нлГЧ в начальной части передаточного блока (разбавление первой стадии, $DF_1$ ) для сведения к минимуму коагуляции и понижает температуру пробы в целях минимизации термофоретических потерь.
	Фильтрованный разбавляющий газ	Сжатый газ (азот или воздух) для разбавителя 1.
	Нагреватель разбавляющего газа	Нагревает разбавляющий газ до его входа в разбавитель 1. Температура нагревателя регулируется температурой ( $T_2$ ) выпускного потока разбавителя 1.
	Выпускной клапан разбавителя 1	Позволяет выпуск излишней разбавленной пробы в атмосферу для поддержания близкого к внешнему давления на выходе разбавителя 1 и недопущения избыточного давления в передаточном блоке.
GL		Газовая линия. Нагреваемая секция для транспортировки выхлопной пробы в целях измерения газообразной эмиссии.
Секция 3	Нагреваемая линия отбора проб	Стандартизированная секция отбора проб. Позволяет производить измерения на безопасном расстоянии от двигателя.

Секция 4	Циклонный сепаратор (1 мкм)	Удаляет большие частицы, которые не являются продуктом сгорания и помогает предотвратить закупорку приборов.
	Разделитель 2	Узел разделителя потока, обеспечивающий потоки проб для измерения массовой и численной концентрации нлТЧ, а также третий поток для обеспечения постоянной скорости потока общей системы в секции 3.
Секция 5	Фильтр	Фракционный фильтр, предотвращающий закупорку и повреждение регулятора потока.
	Регулятор потока	Поддерживает постоянную скорость потока в секции 3 за счет регулирования подпиточного потока.
	Подкачивающий насос	Обеспечивает всасывание для подпиточного потока.
	Анализатор CO <sub>2</sub>	Измерение [CO <sub>2</sub> ] <sub>dil1</sub> в разбавленной пробе.
	нлТЧmi	Прибор для измерения массы нлТЧ
	VPR (DF <sub>2</sub> )	Устройство, которое улавливает летучие виды и еще более растворяет пробу (вторая стадия растворения, DF <sub>2</sub> ) до нлТЧni.
	Фильтрованный разбавляющий газ	Разбавляющий газ (азот или воздух) для VPR.
	нлТЧni (CPC)	Прибор для измерения числа нлТЧ, являющийся конденсационным счетчиком частиц.

## 5. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

### 5.1 Тарировка и обслуживание

5.1.1 Все приборы обслуживаются согласно рекомендациям изготовителя.

#### 5.1.2 Система отбора проб и измерения нлТЧ

Тарировка и обслуживание системы отбора проб и измерения нлТЧ осуществляется, как указано ниже, не менее одного раза в год или согласно рекомендациям изготовителя:

- Опорожняется и промывается коллекторный резервуар циклонного сепаратора.
- Прочищается отверстие штуцера разбавителя 1.
- Регулятор подпитки потока и входные скорости потока для нлТЧmi, нлТЧni и VPR тарируются с помощью расходомера, отслеживаемого до NMI.
- Рекомендация.** Все тарированные скорости потока должны находиться в пределах 5 % всего диапазона измерения (FS).
- Датчики давления тарируются с помощью отслеживаемого до NMI датчика давления.
- Рекомендация.** Все тарированные измерения давления должны находиться в пределах 2 % FS.

## 5.1.3 нлТЧmі

- a) нлТЧmі ежегодно тарируется компетентной лабораторией, с тем чтобы он отвечал тарировочным требованиям, указанным в дополнении В к настоящему добавлению.
- b) нлТЧmі демонстрирует соответствие требованиям к характеристикам, перечисленным в таблице А7-3 дополнения В к настоящему добавлению, после внесения каких-либо изменений в аппаратуру или программное обеспечение нлТЧmі, которые влияют на получение и обработку данных.

*Примечание. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Дос 9501).*

## 5.1.4 VPR

- a) VPR ежегодно тарируются компетентной лабораторией, с тем чтобы он отвечал требованиям, указанным в дополнении С к настоящему добавлению.
- b) Если VPR содержит каталитический удалитель, периодичность его замены отвечает рекомендациям изготовителя.

## 5.1.5 нлТЧnі (CPC)

- a) нлТЧnі ежегодно тарируются компетентной лабораторией, с тем чтобы он отвечал требованиям к тарировке, указанным в дополнении С к настоящему добавлению.
- b) Рабочей жидкостью нлТЧnі является н-бутанол, которая заменяется согласно рекомендациям изготовителя.
- c) нлТЧnі демонстрирует соответствие техническим требованиям к характеристикам, перечисленным в дополнении С к настоящему добавлению, после внесения каких-либо изменений в аппаратуру или программное обеспечение нлТЧnі, которые влияют на получение и обработку данных.

*Примечание. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Дос 9501).*

## 5.1.6 Газоанализаторы

- a) Тарировка анализаторов CO<sub>2</sub>, CO, HC и NO<sub>x</sub> осуществляется согласно процедурам в добавлении 3.
- b) Примесь CO<sub>2</sub> в нулевом тарировочном газе для анализатора CO<sub>2</sub> ниже по потоку от разбавителя 1 составляет менее 10 ppm.

*Примечание. Требование в отношении примеси CO<sub>2</sub> для анализатора CO<sub>2</sub> ниже по потоку от разбавителя 1 отличается от дополнения D к добавлению 3.*

- c) **Рекомендация.** Разбавляющий газ для разбавителя 1 должен быть таким же, как нулевой тарировочный газ, применяемый для анализатора CO<sub>2</sub>.

## 5.2 Работа двигателя

5.2.1 Двигатель работает на стационарном испытательном стенде, который подходит и должным образом оборудован для проведения высокоточных испытаний характеристик.

5.2.2 Испытания для измерения эмиссии нлТЧ проводятся на режимах тяги, указанных сертифицирующим органом. На каждом режиме обеспечивается стабильная работа двигателя.

### 5.3 Баланс углерода

Каждое испытание включает проверку отношения воздух/топливо, рассчитанного по объединенному образцу общей концентрации углерода, за исключением концентрации дыма, которая должна совпадать с точностью до  $\pm 15\%$  с данными расчета отношения воздух/топливо для режима руления/земного малого газа и с точностью  $\pm 10\%$  для всех остальных режимов работы двигателя.

*Примечание. Инструктивный материал по использованию эквивалентной методики приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

### 5.4 Работа системы отбора проб и измерения нлТЧ

5.4.1 До проведения серии испытаний двигателя обеспечивается соблюдение следующих требований:

- a) Осуществляются проверки на утечку и чистоту коллекторного блока с использованием методики, описанной в дополнении Е к настоящему добавлению.
- b) Производится проверка коэффициента разбавления VPR ( $DF_2$ ) согласно дополнению Е.

5.4.2 Для измерения газообразных веществ в GL и ниже по потоку от разбавителя 1 используется следующая методика:

- a) С помощью соответствующего нулевого газа произвести все необходимые виды настройки приборов.
- b) Вести тарировочный газ, концентрация которого соответствует номинальной 90%-ной величине концентрации FS для всех подлежащих использованию диапазонов измерения, и соответствующим образом установить и записать значения коэффициента усиления.

5.4.3 В ходе серии испытаний двигателя соблюдаются следующие требования:

- a) Измерения нлТЧ производятся только после прогрева и стабилизации всех приборов и линий отбора проб.
- b) Если какой-либо компонент или секция системы отбора проб нлТЧ являются новыми, прошедшими очистку после последнего использования или ранее использовались в целях, не относящихся к отбору проб выхлопных газов двигателя, то система отбора проб нлТЧ отбирает пробы выхлопных газов авиационного двигателя как минимум в течение 30 мин при любом значении тяги двигателя, прежде чем будут произведены измерения нлТЧ.

*Примечание. Удаление сажи, заблокировавшей отверстие разбавителя 1, не является процессом очистки, как указано в b).*

- c) Производятся проверки на исправность, рекомендованные изготовителем нлТЧmi.
- d) Для измерений числа нлТЧ соблюдаются следующие требования:

- 1) Нагретое состояние VPR составляет  $350\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



- 2) Если в VPR используется каталитический удалитель, разбавляющий газ содержит по крайней мере 10 % O<sub>2</sub>.
- 3) Рабочая жидкость нлТЧні находится на требуемом изготовителем уровне.
- 4) Сатуратор и конденсор нлТЧні достигли нужных рабочих температур.
- е) Производятся проверки на исправность, рекомендованные изготовителем нлТЧні.
- ф) В начале и в конце испытания двигателя производится проверка на чистоту передаточного блока с использованием методики, описанной в дополнении Е к настоящему добавлению.

*Примечание. Проверка на чистоту передаточного блока также служит в качестве рабочей проверки установки на ноль приборов измерения нлТЧ.*

- г) В начале и в конце испытания двигателя производится измерение нлТЧ в окружающей среде с использованием методики, описанной в дополнении Е к настоящему добавлению.

*Примечание. Измерение окружающей среды также служит в качестве рабочей проверки реакции прибора нлТЧні.*

- h) В конце испытания, а также минимум каждый час в ходе испытаний повторно проверяются тарировочная точка и точка нуля газоанализатора. Если любая из них изменилась более чем на ±2 % диапазона FS, испытание повторяется после восстановления состояния прибора в пределах его спецификации.

5.4.3.1 **Рекомендация.** *Следует производить обратную продувку во время запуска и выключения двигателя.*

5.4.4 Во время измерений нлТЧ двигателя соблюдаются следующие требования:

- а) Если уровень P<sub>1</sub> ниже атмосферного давления, регулировочный клапан давления P<sub>1</sub> закрывается; и дополнительный запорно-выпускной клапан, если таковой установлен, закрывается.
- б) Как концентрация CO<sub>2</sub> в GL, так и концентрация CO<sub>2</sub> ниже по потоку от разбавителя 1 [CO<sub>2</sub>]<sub>dil1</sub>, постоянно замеряются и используются для валидации и регулирования DF<sub>1</sub> в реальном времени (DF<sub>1-S</sub>) в пределах диапазона 8–14. DF<sub>1-S</sub> определяется как:

$$DF_{1-S} = \frac{[CO_2]}{[CO_2]_{dil1}}.$$

*Примечание. Расчет DF<sub>1-S</sub> не требует концентрации CO<sub>2</sub> во влажных условиях.*

- с) Расход потока пробы, составляющий 25 ст. л/мин ± 2 ст. л/мин в секции 3, отслеживается путем суммирования величин расхода газов в подпиточном и входном потоках нлТЧмі и VPR.
- д) Когда работа двигателя и замеренная концентрация нлТЧ и [CO<sub>2</sub>]<sub>dil1</sub> стабилизируются на требуемом режиме тяги, усредняются и регистрируются как минимум 30-секундные данные.
- е) Если нлТЧмі не производит измерение давления пробы, давление измеряется в точке между выходом разделителя 2 и входом подпиточного потока и регистрируется.
- ф) Если нлТЧні не производит измерение давления пробы, давление измеряется в точке между выходом VPR и входом нлТЧні и регистрируется.

## 6. РАСЧЕТЫ

### 6.1 Уравнения массовой концентрации нЛТЧ и массовых и численных индексов эмиссии нЛТЧ

Данная методика используется для расчета массовой концентрации нЛТЧ и массовых и численных индексов эмиссии (EI) нЛТЧ авиационных газотурбинных двигателей, в которых в воздухе сжигается углеводородное топливо. Во всех уравнениях используются массовая концентрация нЛТЧ и численная концентрация нЛТЧ при работе приборов в условиях STP. Если это не так, пользователь следует рекомендуемой методике изготовителя прибора для приведения зарегистрированных концентраций к условиям STP прибора.

#### 6.1.1 Массовая концентрация нЛТЧ

Массовая концентрация нЛТЧ ( $нЛТЧ_{mass}$ ) представляет собой массу частиц на единицу объема пробы выхлопных газов двигателя с поправками на коэффициент первой стадии разбавления ( $DF_1$ ) и термофоретические потери частиц в коллекторном блоке. Она рассчитывается с использованием следующего уравнения:

$$nvPM_{mass} = DF_1 \times nvPM_{mass\_STP} \times k_{thermo}.$$

#### 6.1.2 Массовые и численные индексы эмиссии нЛТЧ

Массовые и численные индексы эмиссии нЛТЧ ( $EI_{mass}$  и  $EI_{num}$ ) представляют собой массу (в миллиграммах) и число частиц в выхлопных газах двигателя на массу сгораемого топлива (в килограммах) с поправкой на их соответствующие коэффициенты разбавления и термофоретические потери частиц в коллекторном блоке. Они рассчитываются с использованием следующих уравнений:

$$EI_{mass} = \frac{22,4 \times nvPM_{mass\_STP} \times 10^{-3}}{\left( [CO_2]_{dil} + \frac{1}{DF_1} ([CO] - [CO_2]_b + [HC]) \right) (M_C + \alpha M_H)} \times k_{thermo}.$$

$$EI_{num} = \frac{22,4 \times DF_2 \times nvPM_{num\_STP} \times 10^6}{\left( [CO_2]_{dil} + \frac{1}{DF_1} ([CO] - [CO_2]_b + [HC]) \right) (M_C + \alpha M_H)} \times k_{thermo}.$$

$[CO_2]$ ,  $[CO]$  и  $[HC]$  рассчитываются, как показано в дополнении Е к добавлению 3.

*Примечание 1. Постоянная 22,4, используемая в уравнениях EI выше, является объемом одного моля воздуха в литрах при условиях STP, округленная до одного десятичного разряда.*

*Примечание 2. Инструктивный материал по использованию эквивалентной методики приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

## 6.2 Поправочные коэффициенты для эмиссии нлТЧ

### 6.2.1 Поправка на термофоретические потери нлТЧ в коллекторном блоке

Поправка на термофоретические потери нлТЧ в коллекторном блоке определяется следующим образом:

$$k_{\text{thermo}} = \left( \frac{T_1 + 273,15}{T_{\text{EGT}} + 273,15} \right)^{-0,38},$$

если  $T_{\text{EGT}} < T_1$ , тогда  $k_{\text{thermo}} = 1$ .

*Примечание. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

## 6.3 Величины, входящие в контрольный параметр

ЕІ нормализуется по отношению к температуре на входе в камеру сгорания исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря.

### 6.3.1 Определения

Исходный стандартный двигатель. Двигатель, в значительной степени соответствующий конфигурации серийного образца данного типа двигателя и обладающий всеми типичными эксплуатационными и техническими характеристиками.

$F_{00}$  Расчетная тяга (см. определения, глава1, часть I).

$F_n$  Тяга на эксплуатационном режиме  $n$  для регистрируемой эмиссии нлТЧ (кН).

$W_f$  Массовый расход топлива исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря (кг/с).

$W_{fn}$  Массовый расход топлива исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря на эксплуатационном режиме  $n$  цикла LTO.

$T_B$  Температура на входе в камеру сгорания.

6.3.2 Массовые и численные индексы (ЕІ) эмиссии нлТЧ получают для каждого эксплуатационного режима цикла LTO при  $T_B$  исходного стандартного двигателя. Для определения режима малого газа требуется проводить испытания по крайней мере в трех точках. Для массовых и численных ЕІ нлТЧ в стандартных условиях МСА определяются следующие зависимости:

- a) между УШ и  $E_{I\text{ж}}$
- b) между  $C_a$  и  $E_{I\text{ж}}$
- c) между  $F_n$  и  $T_B$ ;

*Примечание 1. Для примера эти зависимости приводятся на рис. А7-2 a), b) и c).*

*Примечание 2. Зависимости b) и c) могут быть определены непосредственно на основе данных испытаний двигателя или могут быть получены с помощью апробированной модели характеристик двигателя.*

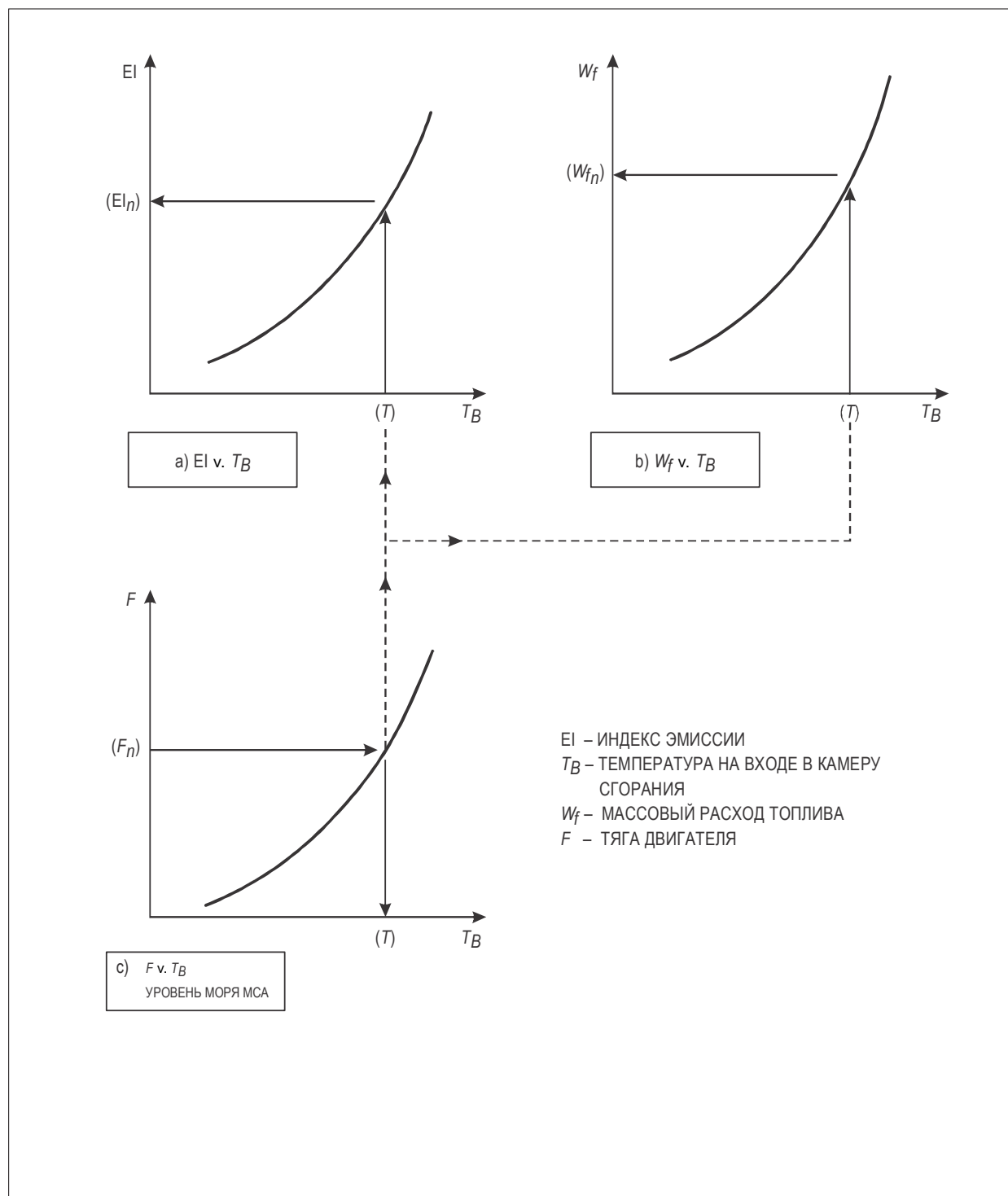


Рис. А7-2.  $EI$  нлТЧ газотурбинного двигателя как функция нескольких параметров двигателя

#### 6.4 Методика расчета

Оценка массовых и численных EI (приведенных к  $T_B$ ) нЛТЧ на регистрируемых эксплуатационных режимах проводится согласно следующей общей методике:

- а) определить температуру на входе в камеру сгорания ( $T_B$ ) (рис. А7-2 с)) при значениях  $F_n$ , соответствующих регистрируемым эксплуатационным режимам,  $n$ , в стандартных атмосферных условиях;
- б) на основании характеристик  $EI/T_B$  (рис. А7-2 а)) определить величину  $EI_n$ , соответствующую  $T_B$ ;
- с) на основании характеристики  $W_f/T_B$  (рис. А7-2 б)) определить величину  $W_{fn}$ , соответствующую  $T_B$ ;

*Примечание. Несмотря на то что описанная выше методика является рекомендуемым методом, сертифицирующий орган может одобрить равноценную математическую методику, в которой используются математические выражения, задающие изображенные кривые, если такое выражение получено с использованием принятого метода аппроксимации кривых.*

#### 6.5 Исключение из предлагаемой методики

*Примечание. В тех случаях, когда конфигурация двигателя или наличие других объективных условий не позволяют использовать данную методику, сертифицирующий орган по получении достаточных технических доказательств, свидетельствующих об эквивалентных результатах, достигнутых с помощью альтернативной методики, может утвердить такую альтернативную методику.*

\_\_\_\_\_



## **ДОПОЛНЕНИЕ А К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ТРЕБОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ, КАСАЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ ОТБОРА ПРОБ нЛТЧ**

### **1. СЕКЦИЯ 1. ВХОД ПРОБООТБОРНИКА – ВХОД РАЗДЕЛИТЕЛЯ 1**

1.1 Секция 1 отвечает следующим требованиям:

- a) Проба подается от пробоотборника в секцию 2 по линии с внутренним диаметром 4,0– 8,5 мм по возможно кратчайшему маршруту.
- b) Линия отбора проб поддерживается на температуре выше или равной 145 °С.
- c) Длина от входа пробоотборника до входа разделителя 1 меньше чем или равна 8 м.

### **2. СЕКЦИЯ 2. ВХОД РАЗДЕЛИТЕЛЯ 1 – ВЫХОД РАЗБАВИТЕЛЯ 1**

2.1 Раздел 2 отвечает следующим требованиям:

- a) Секция 2 содержит разделитель 1 и разбавитель 1.
- b) Материал линии отбора проб является таким, чтобы минимизировать отложение твердых частиц или статическое электричество.

*Примечание. Этим требованиям отвечают нержавеющая сталь или заземленный насыщенный углеродом ПТФЭ.*

- c) Длина секции 2 от входа разделителя 1 до выхода разбавителя 1 не превышает 1 м.
- d) Секция 2 содержит отсечной клапан 1 для проверки на утечку в GL.

2.2 Разделитель 1 отвечает следующим требованиям:

- a) Разделитель 1 изготавливается из нержавеющей стали.
- b) Температура корпуса разделителя 1 поддерживается на уровне, превышающем или равном 145 °С.
- c) Разделитель 1 разделяет выхлопную пробу двигателя на три потока.
- d) Углы разделения по отношению к входящему потоку являются, насколько это практически возможно, максимально острыми, но не превышающими 35°.
- e) Поток проб нЛТЧ следует по прямоточной и кратчайшей схеме, насколько это практически возможно.
- f) Внутренняя геометрия разделителя 1 отвечает следующим требованиям:
  - 1) Никаких обращенных к потоку ступенчатых плечевых соединений на внутренней стенке.
  - 2) Никаких изменений во внутреннем диаметре от выхода разделителя 1 до входа разбавителя
  - 3) Внутренний диаметр GL = 4–8,5 мм.
  - 4) Внутренняя площадь поперечного сечения линии отбора излишних проб больше или равна общей входной площади кончиков пробоотборника.

2.3 Отсечной клапан 1 отвечает следующим требованиям:

- a) Отсечной клапан 1 размещается между выходом разделителя 1 и входом разбавителя 1.
- b) Отсечной клапан 1 является полнопроходным без обращенных к потоку ступенчатых печевых соединений, больших чем 15 % от внутреннего диаметра.
- c) Седла отсечного клапана 1 являются сухими и термостойкими до 175 °С.

2.4 Температура (T1) стенок линии отбора проб нЛТЧ в секции 2 (в пределах 5 см от плоскости смешивания разбавителя 1) поддерживается на уровне, превышающем или равном 145 °С, как указано на рис. А7-3.

2.5 Разбавитель 1 отвечает следующим требованиям:

- a) Разбавитель 1 является разбавителем эжекторного типа.
- b) Внутренний диаметр входа разбавителя 1 превышает или равен 7,59 мм.
- c) Разбавляющий поток регулируется согласно спецификациям изготовителя.
- d) Коэффициент разбавления разбавителя 1 в реальном времени регулируется в диапазоне от 8 до 14.

*Примечание 1. Минимальный коэффициент разбавления требуется для сведения к минимуму коагуляции нЛТЧ, а максимальный коэффициент необходим для поддержания разбавленной пробы в диапазоне измерения приборов.*

*Примечание 2.  $DF_1$  может корректироваться путем регулирования  $P_1$  с помощью регулировочного клапана давления в потоке излишних проб или путем регулирования разбавляющего газопотока.*

- e) Выпускной клапан разбавителя 1 открыт для внешнего давления (равного давлению на входе в двигатель).
- f) Корпус разбавителя 1 нагревается до 60°C ± 15°C, как показано на рис. А7-3.
- g) В качестве разбавляющего газа используется азот или воздух, фильтруемый через НЕРА и содержащий менее 10 ppm CO<sub>2</sub>.
- h) Разбавляющий газ нагревается до температуры разбавленной пробы нЛТЧ, равной 60 °C ± 15 °C на выпускном отверстии разбавителя 1 (T<sub>2</sub>).
- i) Проникновение частиц через разбавитель 1 отвечает минимальным требованиям, указанным в таблице А7-2.

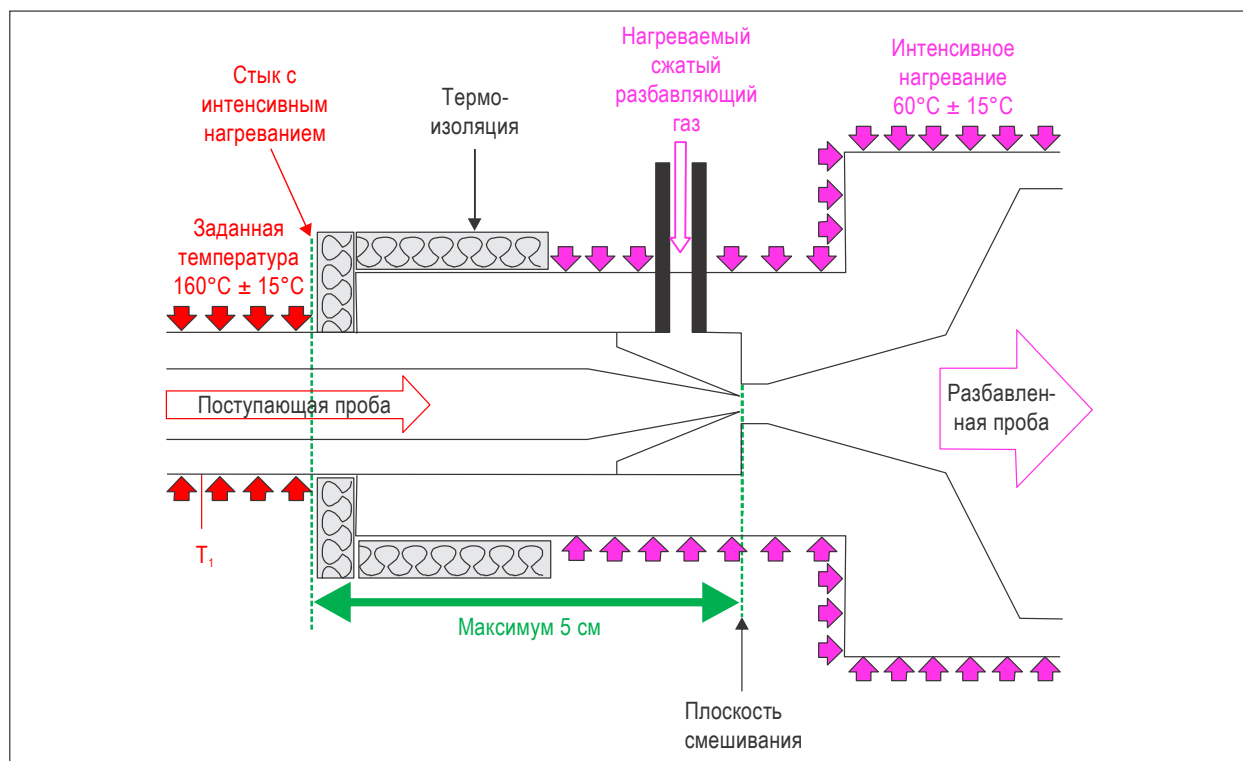
**Таблица А7-2. Минимальные требования в отношении доли проникновения частиц (эффективность передачи) разбавителя 1**

Размер подвижности частиц (диаметр)	15 нм	30 нм	50 нм	100 нм
Минимальная доля проникновения частиц	80 %	90 %	90 %	90 %

2.5.1 **Рекомендация.** Для минимизации воздействия на рабочий диапазон  $DF_1$  падение давления в выпускной линии разбавителя 1 следует, насколько это практически возможно, сводить к минимуму.

2.5.2 **Рекомендация.** Следует предусмотреть меры безопасности для предотвращения перегрева нагревателя разбавляющего газа при отсутствии подачи потока разбавляющего газа.





**Рис. А7-3. Поперечное сечение входа типового разбавителя 1 эжекторного типа с нагревающим стыком**

## 2.6 Газовая линия

2.6.1 GL и анализаторы газообразной эмиссии отвечают техническим требованиям в добавлении 3 и дополнениях к добавлению 3.

*Примечание. Коллекторный блок (секция 1) системы отбора проб и измерения нЛТЧ отвечает техническим требованиям в добавлении 3.*

2.6.2 Для определения EI нЛТЧ измерения  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  и газовых концентраций  $\text{NO}_x$  в GL производятся одновременно.

*Примечание. Инструктивный материал приведен в в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

2.6.3 Для определения  $\text{DF}_{1,S}$  измерения концентрации  $\text{CO}_2$  в GL (в сухих, полусухих или влажных условиях) производится одновременно с измерениями нЛТЧ.

## 2.7 Линия отбора излишнего потока

2.7.1 Давление линии отбора проб на входе разбавителя ( $P_1$ ) поддерживается близким к давлению местного окружающего воздуха с помощью подходящего регулировочного клапана давления с достаточной внутренней площадью. В полностью закрытом положении клапан способен поддерживать вакуумметрическое давление  $-75 \text{ кПа}$  по отношению к давлению окружающей среды.

2.7.2 **Рекомендация.** Для предотвращения утечки внутри разделителя 1 при давлении меньше атмосферного ниже по потоку от регулировочного клапана давления следует установить дополнительный запорно-выпускной клапан с достаточной внутренней площадью во избежание избыточного давления в системе.

### 3. СЕКЦИЯ 3. ВЫХОД РАЗБАВИТЕЛЯ 1 – ВХОД ЦИКЛОННОГО СЕПАРАТОРА

3.1.1 Линия отбора проб отвечает следующим требованиям:

- a) Материалом линии отбора проб является заземленный насыщенный углеродом ПТФЭ.
- b) **Рекомендация.** Линия отбора проб должна отвечать антистатическому требованию в ИСО 8031.
- c) Внутренний диаметр линии отбора проб составляет от 7,59 до 8,15 мм.

*Примечание.* С учетом допусков изготовителя техническое требование к внутреннему диаметру линии отбора проб соответствует имеющимся в продаже линиям с размерами внешнего диаметра 3/8 дюйма и 7/16 дюйма с толщиной стенки в обоих случаях 0,035; а также 10 мм с толщиной стенки 1 мм.

- d) Линия имеет длину 24,5 м  $\pm$  0,5 м без излишних фитингов и состоит максимум из трех отрезков.
- e) Радиусы изгиба спиральной линии отбора проб превышают 0,5 м.
- f) Температура линии отбора проб поддерживается на уровне 60°C  $\pm$  15°C за счет интенсивного подогрева.
- g) Расход проб газа поддерживается на уровне 25 ст. л/мин  $\pm$  2 ст. л/мин.

### 4. СЕКЦИЯ 4. ВХОД ЦИКЛОННОГО СЕПАРАТОРА – ВХОД ПРИБОРОВ

#### 4.1 Циклонный сепаратор

Циклонный сепаратор отвечает следующим требованиям:

- a) Материалом циклонного сепаратора является нержавеющая сталь.
- b) Циклонный сепаратор нагревается до 60°C  $\pm$  15°C.
- c) Входной и выходной внутренние диаметры циклонного сепаратора меньше 15%-ной разницы относительно входного и выходного внутреннего диаметра линии отбора проб.
- d) Характеристики циклонного сепаратора при расходе газа 25 ст. л/мин отвечают следующим техническим требованиям:
  - 1) Граница раздела фракций:  $D_{50} = 1,0 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$ .
  - 2) Точность раздела:  $(D_{16}/D_{84})^{0,5}$  менее чем или равно 1,25.
  - 3) Падение давления:  $\Delta P$  менее чем или равно 2 кПа.

#### 4.2 Разделитель 2

Разделитель 2 отвечает следующим требованиям:

- a) Материалом корпуса разделителя 2 является нержавеющая сталь.
- b) Разделитель 2 нагревается до  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- c) Разделитель 2 разделяет пробу на три потока для подачи разбавленной пробы нлТЧ в:
  - 1) нлТЧmі,
  - 2) VPR,
  - 3) подпиточный поток.
- d) Углы разделения по отношению к входящему потоку, являются, насколько это практически возможно, максимально острыми, не превышающими  $35^{\circ}$ .
- e) Все потоки нлТЧ, насколько это практически возможно, следуют по прямоточной и кратчайшей схеме.
- f) Геометрия разделителя 2 отвечает следующим требованиям:
  - 1) Никаких обращенных к потоку ступенчатых плечевых соединений на внутренней стенке.
  - 2) Никаких изменений во внутреннем диаметре от выхода разделителя 2 до входа нлТЧmі.
  - 3) Никаких изменений во внутреннем диаметре от выхода разделителя 2 до входа VPR.

#### 4.3 Стык с системой измерения

Линия отбора проб к нлТЧmі и VPR отвечает следующим требованиям:

- a) Материалом линии отбора проб является нержавеющая сталь или заземленный насыщенный углеродом ПТФЭ.
- b) **Рекомендация.** Если материалом линии отбора проб является заземленный насыщенный углеродом ПТФЭ, он должен отвечать антистатическому требованию в ИСО 8031.
- c) Линия отбора проб нагревается до  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- d) Никаких изменений во внутреннем диаметре между линией отбора проб и входами приборов.
- e) Общая длина каждой линии от входа циклонного сепаратора до входа нлТЧmі и VPR является наименьшей, насколько это практически возможно, и не превышает 3 м.

## 5. СЕКЦИЯ 5. ИЗМЕРЕНИЕ нлТЧ

### 5.1 Канал подпитки потока

5.1.1 Компоненты канала подпитки потока отвечают следующим требованиям:

- а) подкачивающий насос и регулятор потока должны поддерживать постоянный общий расход проб газа (суммарный расход подпиточного потока, нлТЧ<sub>mi</sub> и VPR), равный 25 ст. л/мин  $\pm$  2 ст. л/мин до 10 кПА ниже окружающей среды, через секцию 3;
- б) анализатор CO<sub>2</sub> должен постоянно измерять концентрацию CO<sub>2</sub> ниже по потоку от разбавителя 1 [CO<sub>2</sub>]<sub>dil</sub> во время измерения нлТЧ.

*Примечание 1. В зависимости от конфигурации отбора проб могут быть установлены несколько регуляторов потока и насосов.*

*Примечание 2. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

5.1.1.1 **Рекомендация.** Фракционные фильтры должны быть установлены выше по потоку от регуляторов потока для предотвращения повреждения компонентов.

5.1.2 Если нлТЧ<sub>mi</sub> не производит измерение давления пробы, давление измеряется на выходе разделителя 2 в направлении канала подпитки потока.

5.1.3 Анализатор CO<sub>2</sub> отвечает следующим требованиям:

- а) анализатор CO<sub>2</sub> устанавливается после регулятора потока;
- б) анализатор CO<sub>2</sub> отвечает техническим требованиям к характеристикам, приведенным под заголовками "Анализаторы CO и CO<sub>2</sub>" и "Анализатор CO<sub>2</sub>" дополнения В к добавлению 3, за исключением а).

5.1.3.1 **Рекомендация.** Общий диапазон анализатора CO<sub>2</sub> должен быть приблизительно в десять раз ниже анализатора CO<sub>2</sub>, используемого в GL.

— — — — —

## **ДОПОЛНЕНИЕ В К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ нлГЧ И ИХ ТАРИРОВКИ**

*Примечание 1. В настоящем дополнении масса элементарного углерода (ЕС) используется в качестве заместителя массы нлГЧ. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc9501).*

*Примечание 2. Подробное описание эталонного метода измерений на основе термооптического пропускания (ТОТ) содержится в разделе 2 настоящего дополнения. Данный метод обычно применяется тарировочными лабораториями; не предполагается, что этот метод будут применять изготовители авиационных двигателей.*

*Примечание 3. В настоящем дополнении используются ссылки на следующие материалы ИСО: Международная организация по стандартизации, качество воздуха. Определение и разработка рабочих характеристик автоматизированной системы измерения. ИСО 9169, 2006.*

### **1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

На каждую конструкцию и модель нлГЧ<sup>и</sup> изготовитель приборов или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что они:

- a) имеют диапазон измерений от 0 до 1000 мкг/м<sup>3</sup> или больше;
- b) имеют разрешающую способность 1 мкг/м<sup>3</sup> или лучше;
- c) являются нечувствительным к летучим твердым частицам.

*Примечание 1. Летучие твердые частицы представляют собой выхлопной материал камеры сгорания, который испаряется при температурах меньших или равных 350°C.*

*Примечание 2. Данное техническое требование соблюдается, если нлГЧ<sup>и</sup> отвечает содержащемуся в таблице А7-3 техническому требованию к характеристикам применимости;*

- d) отвечает техническим требованиям к характеристикам, перечисленным в таблице А7-3.

*Примечание 1. Ссылки на ИСО 9169 в таблице, которые обозначены звездочкой, относятся к разделам, в отношении которых применяются изменения, описанные в разделе 4 настоящего дополнения.*

*Примечание 2. Технические требования к характеристикам отражают пределы количественных величин, которые могут быть проверены с использованием термооптического пропускания (ТОТ) в качестве эталонного метода измерений. Описание метода ТОТ приводится в разделе 2.*

*Примечание 3. Во время ежегодной тарировочной процедуры, изложенной в разделе 5 настоящего дополнения, необходимо применять только техническое требование к характеристикам точности.*

*Примечание 4. Применимость определяется согласно процедуре, приведенной в разделе 3 настоящего дополнения.*

**Таблица А7-3. Технические требования к характеристикам приборов  
для определения массы нлТЧ (нлТЧmi)**

Техническое требование к характеристикам	Значение (равное или меньше чем)	Метод определения
Повторяемость	10 мкг/м3	ИСО* 6.4.5.3
Дрейф нуля	10 мкг/м3/ч	ИСО 6.6 (только для СО)
Линейность	15 мкг /м3	ИСО* 6.4.5.4
Предел обнаружения (LOD)	1 мкг/м3	ИСО* 6.4.5.5
Время нарастания	2 с	ИСО 6.3
Интервал отбора проб	1 с	ИСО 2.1.7
Точность (Согласованность с массовой концентрацией ЕС, определенной на основе TOT)	±10 %	Кривая линейной регрессии между массовой концентрацией нлТЧmi и массовой концентрацией ЕС, определенной на основании TOT после тарировки (таблица А7-5)
Применимость	±16 %	Валидация на выхлопе авиационного газотурбинного двигателя

## 2. МЕТОД ТЕРМООПТИЧЕСКОГО ПРОПУСКАНИЯ (TOT)

Термооптическое пропускание (TOT) является эталонным методом измерения для демонстрации соблюдения технических требований к характеристикам каждой конструкции и модели нлТЧmi и для тарировки нлТЧmi. Этот метод позволяет определить ЕС и ОС в пробах нлТЧ.

### 2.1 Общие положения

2.1.1 Анализатор TOT является либо лабораторным прибором (с пламеионизационным детектором, FID), либо прибором полунепрерывного действия (с нерассеивающим инфракрасным детектором (NDIR)).

2.1.2 Метод TOT использует температурный профиль, указанный в таблице А7-4.

*Примечание. Инструктивный материал по методу TOT приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

### 2.2 Реагенты и материалы

2.1.1 Используются следующие реагенты:

- а) водный раствор химически чистой (99 % или выше) сахарозы, растворенной в сверхчистой  $H_2O$ , тип I, или ее эквивалента для получения 0,1–3 мг С на миллилитр раствора;
- б) He – чистота 5,0 (больше чем 99,999 %);
- в)  $H_2$  – чистота 4,5 (больше чем 99,995 %);
- г) нулевой воздух (содержащий менее 0,2 ppm углеводородов);
- д) сертифицированная смесь 10 %-го  $O_2$  в He;
- е) сертифицированная смесь 5 %-го  $CH_4$  в He.

#### 2.2.2 Используется следующий материал:

- а) для лабораторного прибора – приданный в комплекте с прибором металлический кернер для удаления прямоугольной части фильтра размером 1,0 или 1,5 см<sup>2</sup>;
- б) для прибора полунепрерывного действия – приданный в комплекте с прибором металлический кернер для удаления двух круглых фильтров размером 2,0 см<sup>2</sup>;
- в) фильтры из кварцевых волокон Pall Tissuquartz™ или эквивалентные фильтры;
- г) шприц на 10 микролитров.

#### 2.2.3 Подготовка фильтра

В зависимости от используемого прибора фильтры подготавливаются следующим образом:

- а) для отбора проб и анализа ручным методом все фильтры из кварцевых волокон проходят предварительный обжиг в муфельной печи при температуре равной или превышающей 550 °С в течение 12 ч; или превышающей или равной 800 °С в течение 1–2 ч до отбора проб и хранятся в герметизированном контейнере; или
- б) для анализатора полунепрерывного действия фильтры для измерения приводятся в надлежащее состояние путем проведения по крайней мере одного полного цикла измерений, описанного в таблице А7-4.

### 2.3 Подготовка пробы

#### 2.3.1 Фильтр с пробой помещается на чистую алюминиевую фольгу.

*Примечание. Для протирки поверхности фольги можно использовать изопропиловый спирт или ацетон. В этом случае, прежде чем использовать фольгу, подождать пока остаточный растворитель не выветрится с поверхности. Иным образом, чистота фольги перед использованием может быть обеспечена путем термообработки в муфельной печи.*

2.3.2 Репрезентативная часть фильтра кернуется и изымается. Для подготовки фильтров используется передовая лабораторная практика.

### 2.4 Тарировка и контроль качества

2.4.1 Температурный датчик, регулирующий температуру печи, тарируется с использованием отслеживаемого стандарта теплопередачи за год до любых проводимых анализов TOT.

2.4.2 При использовании лабораторного прибора тарируется реакция FID. Тарировка проводится по следующей процедуре:

- a) приготовить внешний тарировочный эталон, состоящий из раствора сахарозы в воде, свободной от примеси органических веществ;
- b) рассеять 10 микролитров раствора на образцы из нового и чистого, предварительно обожженного кварцевого фильтра;
- c) проанализировать как минимум три холостых отбора проб и три пробы с раствором сахарозы, чтобы убедиться, что тарировка прибора показывает процентное извлечение теоретической массы С (мкгС измеренной/мкгС рассеянной) от 95 до 105 %.

2.4.3 При использовании прибора полунепрерывного действия тарируется реакция NDIR. Тарировка производится по следующей процедуре:

- a) приготовить внешний тарировочный эталон, состоящий из раствора сахарозы в воде, свободной от органических примесей;
- b) рассеять 10 микролитров раствора на образцы из отдельного заранее подготовленного "лодочного" фильтра, вставленного в нижнюю часть кварцевого полуцилиндра;
- c) проанализировать как минимум три холостых отбора проб и три пробы с раствором сахарозы, чтобы убедиться, что тарировка прибора показывает процентное извлечение теоретической массы С (мкгС измеренной/мкгС рассеянной) от 95 до 105 %.

**Таблица А7-4. Требуемый температурный профиль для цикла анализа по методу TOT**

Транспортирующий газ	Температура (°C)	Время при температуре (секунды)
100 % He	310	80
	475	80
	615	80
	870	110
	550	45
10 % O <sub>2</sub> в He	550	45
	625	45
	700	45
	775	45
	850	45
	870	60
	930	120
5 % CH <sub>4</sub> в He	0	120



2.4.4 Если для анализа фильтра требуется несколько дней, каждый день следует производить одну контрольную проверку качества, как правило, с использованием исходного раствора сахарозы, рассеиваемого на фильтр и соответствующим образом анализируемого. Результаты составляют 95–105 % теоретической массы С.

*Примечание. Холостой отбор – это предварительно обожженный кварцевый фильтр без добавления сахарозы, но обрабатываемый аналогичным образом.*

## 2.5 Измерение

Измерение производится согласно следующей процедуре:

- a) Анализатор TOT используется в соответствии с рекомендациями изготовителя.
- b) Поместить часть пробы в печь для пробы.
- c) Определить массу ЕС и ОС в мкг.

*Примечание. Результаты анализатора TOT сообщаются в мкг/см<sup>2</sup> С.*

- d) В окончательные результаты пробы всегда вносится поправка на холостую пробу:
  - 1) Для лабораторного прибора холостая проба состоит из предварительно обожженных фильтров из кварцевых волокон, обрабатываемых таким же образом, как и настоящие пробы, за исключением того, что через фильтр воздух не проходит. Массовая загрузка ЕС на единицу площади, большая чем или равная 0,3 мкг/см<sup>2</sup> в холостых пробах, означает загрязнение.
  - 2) Для анализатора полунепрерывного действия измерение комплекта внутренних фильтров осуществляется без прогона пробного газа через фильтры.
- e) В окончательные результаты пробы всегда вносится поправка на артефакты газовой фазы ОС. Для такой поправки рабочие условия (продолжительность и расход газов) идентичны условиям, при которых отбираются пробы. В зависимости от используемого прибора применяется следующая процедура:
  - 1) Для лабораторных анализов используется конфигурация отбора проб, состоящая из тефлонового фильтра, за которым следует предварительно обожженный кварцевый фильтр тонкой очистки или предварительно обожженный кварцевый фильтр, за которым следует предварительно обожженный кварцевый фильтр тонкой очистки, при этом фильтр тонкой очистки анализируется, как указано в таблице А7-4. Обнаруженные любые концентрации ОС на фильтрах тонкой очистки вычитаются из ОС, обнаруженных на фильтрах отбора проб
  - 2) Для анализов полунепрерывного действия тефлоновый фильтр вставляется в конфигурацию отбора проб до анализатора. Любое количество ОС, обнаруженное в ходе такого измерения, вычитается из ОС, обнаруженного в ходе измерения пробы.

## 2.6 Расчеты

В отношении лабораторного прибора:

- a) умножить зарегистрированный результат загрузки ЕС (мкг/см<sup>2</sup>) на площадь осадка в фильтре (см<sup>2</sup>) для расчета общей массы ЕС (мкг) на каждой пробе из фильтра ( $W_{ЕС}$ );
- b) произвести такой же расчет, как в а), для холостых проб и рассчитать массу, обнаруженную в средней холостой пробе ( $W_b$ );

- с) рассчитать массовую концентрацию ЕС ( $C_{EC}$ ) в объеме воздуха, отобранном при условиях STP,  $V$  (в  $m^3$ ):

$$C_{EC} = \frac{W_{EC} - W_b}{V} \quad (\text{мкг} / \text{м}^3).$$

*Примечание 1. Прибор полунепрерывного действия дает массовую концентрацию ЕС как сообщаемый результат.*

*Примечание 2. Инструктивный материал, касающийся принципа метода TOT, приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

### 3. ПРОЦЕДУРА ДЕМОНСТРАЦИИ СОБЛЮДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ

*Примечание. Описанная в настоящем разделе процедура используется для того, чтобы продемонстрировать соблюдение технических требований к характеристикам каждой конструкции и модели нЛТЧті.*

Перечисленные в таблице А7-3 технические требования к характеристикам демонстрируются с использованием метода TOT, описанного в разделе 2 настоящего дополнения. Измерения производятся с использованием двух следующих источников: источник аэрозоля от сжигания в диффузионном пламени и источник выхлопных нЛТЧ газотурбинного двигателя.

#### 3.1 Измерение с использованием источника аэрозоля от сжигания в диффузионном пламени

3.1.1 Система измерения содержит:

- a) источник аэрозоля от сжигания в диффузионном пламени;
- b) систему разбавления, использующую отфильтрованный с помощью НЕРА разбавляющий газ, для регулирования целевых массовых концентраций ЕС;
- c) циклонный сепаратор с границей раздела фракций в 1 мкм, установленный выше по потоку от приборов TOT и нЛТЧті;
- d) узел разделителя, отвечающий требованиям в пп. 4.2 d) и f) дополнения А к настоящему добавлению.

*Примечание. Эквивалентная методика приведена в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501);*

- e) трубопроводы из нержавеющей стали или антистатического материала, соединяющие ручной зонд для отбора проб кварцевого фильтра или анализатор ЕС/ОС полунепрерывного действия и нЛТЧті. Все трубопроводы используют тот же самый материал, имеют одинаковую длину и температуру от точки разделения до входа приборов;
- f) **Рекомендация.** Если используется антистатический трубопровод, трубопровод должен отвечать антистатическому требованию в ИСО 8031.

3.1.2 В зависимости от используемого прибора для измерения TOT соблюдаются следующие требования:

- a) если используются ручной метод отбора проб и лабораторный анализатор, применяется один предварительно обожженный кварцевый фильтр в фильтродержателе из нержавеющей стали, имеющем конусную входную секцию с полууглом  $\leq 12,5^\circ$ , работающий при фронтальной скорости фильтрации меньше или равной 0,5 м/с в фактических эксплуатационных условиях. Диаметр осадки в фильтре является достаточно большим, с тем чтобы позволить отбор по крайней мере одного образца из каждого фильтра. Анализируется по крайней мере один образец из каждой отобранной пробы с кварцевого фильтра; или

- б) если используется анализатор TOT полунепрерывного действия, он работает с фронтальной скоростью фильтрации, меньшей или равной 0,5 м/с.

3.1.3 Измерения производятся на многорядных уровнях целевой массовой концентрации ЕС, указанной в таблице А7-5. Полученные массовые концентрации ЕС находятся в пределах 20 % от указанных целевых массовых концентраций.

3.1.4 На каждом уровне ряда концентрации пробы отбираются в течение одинакового периода времени для определения повторяемой загрузки ЕС в фильтре. Загрузка ЕС в фильтре находится в пределах  $12 \text{ мкг/см}^2 \pm 5 \text{ мкг/см}^2$ .

3.1.5 Время усреднения, определенное в ИСО 9169, является таким же как и время сбора проб в фильтре.

3.1.6 Среднее содержание ЕС, определенное по методу TOT, превышает или равно 80 % от общего содержания С.

3.1.7 Массовые концентрации ЕС по методу TOT и массовые концентрации нлТЧ<sub>т</sub> используются для определения параметров, как указано в разделе 4 настоящего дополнения, которые демонстрируют соблюдение технических требований к характеристикам в таблице А7-3.

**Таблица А7-5. Параметры массовой загрузки ЕС для тарифовочных проб**

Целевая концентрация (мкг/м <sup>3</sup> )	Сертификат об утверждении  Кол-во испытаний	Ежегодная тарифовка  Кол-во испытаний
0 (холостой прогон)	6	3
50	6	0
100	6	3
250	0	3
500	6	3

3.1.8 **Рекомендация.** Для ежегодной тарифовки следует проводить испытания в трех точках при 50 мкг/м<sup>3</sup>.

### **3.2 Измерение с использованием источника нлТЧ в выхлопных газах газотурбинного двигателя**

3.2.1 Для источника нлТЧ в выхлопных газах газотурбинного двигателя повторяется процедура в пп. 3.1.4–3.1.5 с помощью системы измерения, указанной в пп. 3.1.1 с), d), e) и 3.1.2, и системы разбавления, использующей отфильтрованный с помощью НЕРА разбавляющий газ.

*Примечание.* Следует применять достаточную степень разбавления, чтобы не допустить конденсации воды в линии отбора проб.

3.2.2 Замеры данных производятся как минимум в четырех точках по меньшей мере для трех различных величин тяги с повторными измерениями на одной из величин тяги с использованием указанной выше системы отбора проб нлТЧ. Измерения производятся как минимум в трех точках целевых концентраций, каждая из которой

отстоит одна от другой по крайней мере на коэффициент 1,5, и по крайней мере одна концентрация превышает 120 мкг/м<sup>3</sup>, а по крайней мере одна концентрация находится на уровне ниже 120 мкг/м<sup>3</sup>. Загрузка ЕС в фильтре для этих четырех точек измерений составляет от 2,5 до 17 мкг/см<sup>2</sup>.

3.2.3 Массовые концентрации ЕС по методу TOT и массовые концентрации нлТЧмі используются для определения применимости, указанной в таблице А7-3, чтобы продемонстрировать соблюдение технических требований к характеристикам.

3.2.4 Топливо, используемое при испытаниях двигателя, является одним из видов авиационного топлива для газотурбинных двигателей, перечисленных в п. 3.2 главы 3 документа ИКАО "Руководство по снабжению гражданской авиации реактивным топливом" (Дос 9977). Такое же топливо используется для упомянутых (как минимум) четырех точек измерения.

#### 4. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ

4.1 Параметры характеристик нлТЧмі – дрейф нуля, время нарастания и частота отбора проб определяются согласно пп. 6.6, 6.3 и 2.1.7 ИСО 9169 соответственно.

4.2 Параметр повторяемости нлТЧмі в 95%-ном доверительном интервале определяется с использованием шести последовательных измерений на каждом уровне концентрации следующим образом:

$$s_{\Gamma i}^2 = s_{Y_i}^2 - \Delta^2 \cdot s_{C_i}^2,$$

где:

$$s_{Y_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{i,j} - \bar{Y}_i)^2}{(n - 1)}$$

$s_{C_i}$  – стандартное отклонение  $C_{i,j}$  в  $j$  для уровня  $i$ ,

$Y_{i,j}$  – результат измерения прибором исходного материала  $C_{i,j}$ ,

$C_{i,j}$  –  $j^{\text{й}}$  образец концентрации исходного материала на уровне  $i$ ,

$Y_i$  – среднее значение  $Y_{i,j}$  в  $j$ ,

$n$  – число последовательных измерений на каждом уровне концентрации (минимум 6),

$\Delta$  – кривая функция регрессии, применяемая при отсутствии установочной проверки, определяемая с помощью указанных ниже уравнений:

$$E_{i,j} = Y_{i,j} - (\Gamma + \Delta \times C_{i,j}),$$

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{i,j}}{n},$$

где:

$E_{i,j}$  – разница между  $C_{i,j}$  и  $Y_{i,j}$ ,

$E_i$  – среднее значение  $E_{i,j}$  в  $j$ ,

$\Gamma$  – точка пересечения функции регрессии, применяемой при отсутствии установочной проверки.

*Примечание. Если определенная таким образом повторяемость является отрицательной, указывающей на то, что колебания измерений нельзя выделить из вариабельности исходного материала, испытание следует повторить, уделив дополнительное внимание стабильности источника исходного материала (поток источника нЛТЧ в диффузионном пламени и режимы давления), а также точности определения уровня исходного материала (загрузка и процедуры по методу TOT). При отсутствии этого воспроизводимость может быть сообщена как "значительно лучше чем  $\Delta \cdot s_{C_i}^2$ ".*

4.3 Линейность нЛТЧ<sub>mi</sub> определяется, как указано в п. 6.4.5.4 ИСО 9169, однако остаток определяется по следующей формуле:

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{i,j}}{n}.$$

4.4 LOD нЛТЧ<sub>mi</sub> определяется, как указано в п. 6.4.5.5 ИСО 9169. Если прибор не производит измерений, когда в пробе частицы отсутствуют, используется более высокая массовая концентрация нЛТЧ, ( $C_{LOD}$ ), чуть выше нуля таким образом, чтобы прибор выдавал регулярные показания. В этом случае LOD определяется как:

$$Y_{D,0,95} = \bar{Y}_{LOD} - C_{LOD} + 2 \times t_{v,0,95} \times S_{LOD},$$

где:

$Y_{LOD,0,95}$  – предел обнаружения в 95%-ном доверительном интервале,

$\bar{Y}_{LOD}$  – среднее значение  $Y_{LOD,j}$ ,

$C_{LOD}$  – среднее значение  $C_{LOD,j}$ ,

$t_{v,0,95}$  – двусторонний коэффициент Стьюдента в 95%-ном доверительном интервале, степень  $v = n-1$ ,

$S_{LOD}$  – стандартное отклонение, связанное со средним  $Y_{LOD}$ .

*Примечание. Исходный материал может быть не одинаков при последующих измерениях, производимых в течение времени усреднения. Таким образом, каждое определение значения исходного материала может быть различным, хотя и хорошо известным по определению методом TOT. Для учета такой вариабельности определения ИСО 9169 изменены.*

## 5. ТАРИРОВКА

5.1 НЛТЧ<sub>mi</sub> тарируется ежегодно с использованием метода TOT и компоновки системы, указанной в пп. 3.1.1 и 3.1.2 настоящего дополнения.

5.2 Измерения производятся на многорядных уровнях целевой массовой концентрации ЕС, указанной в таблице А7-5. Полученные массовые концентрации ЕС находятся в пределах  $\pm 20\%$  от указанных целевых массовых концентраций.

5.3 На каждом уровне ряда концентрации пробы отбираются в течение аналогичного периода времени для определения повторяемой загрузки ЕС в фильтре. Загрузка ЕС в фильтре составляет  $12 \text{ мкг/см}^2 \pm 5 \text{ мкг/см}^2$ .

5.4 Время усреднения, определенное в ИСО 9169, является таким же, как и время отбора пробы в фильтре.

5.5 Массовые концентрации ЕС по методу TOT и массовые концентрации нЛТЧ<sub>mi</sub> используются для установления наилучшей аппроксимации данных в точках измерения, полученных в результате тарировки приборов. Используется метод линии наименьших квадратов для определения коэффициента масштабирования  $b$  для корректировки массовых концентраций нЛТЧ, полученных от нЛТЧ<sub>mi</sub>, следующим образом:

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2},$$

где

$x_i$  –  $i^{\circ}$  измерение нЛТЧ $m_i$ ,

$y_i$  –  $i^{\text{я}}$  массовая концентрация ЕС по TOT,

$b$  – кривая наилучшей аппроксимации.

*Примечание 1. После применения коэффициента масштабирования  $b$  кривая линейной регрессии анализов проб ЕС по сравнению с показаниями прибора, скорректированными по  $b$ , математически равняется 1,0, и требование по кривой в таблице А7-3 будет соблюдено по определению.*

*Примечание 2. Ввиду ожидаемых неопределенностей в повторяемости анализов проб ЕС по TOT повторение вышеуказанного процесса в той же или другой лаборатории может дать другую кривую без каких-либо изменений в реакции прибора. Содержащиеся в таблице А7-3 технические требования к точности призваны учесть такую вариабельность.*

**5.6 Рекомендация.** До проведения каждой ежегодной тарировки следует оценивать характеристики каждого прибора измерения массы в его "текущем состоянии" при массовой концентрации ЕС в  $100 \text{ мкг/м}^3$ , указанной в таблице А7-5. Такая оценка позволит отследить связь с предыдущими тарировками прибора и сравнить текущие и новые тарировочные постоянные.

— — — — —

## ДОПОЛНЕНИЕ С К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ УЛОВИТЕЛЯ ЛЕТУЧИХ ЧАСТИЦ, ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА нЛТЧ И ИХ ТАРИРОВКИ

### 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

#### 1.1 Технические требования к VPR

1.1.1 На каждую конструкцию и модель уловителя летучих частиц (VPR) изготовитель прибора или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что они отвечают техническим требованиям к характеристикам, перечисленным в данном дополнении.

1.1.2 Коэффициент разбавления ( $DF_2$ ) VPR отвечает следующим требованиям:

- a)  $DF_2$  корректируется для поддержания массовой концентрации частиц в режиме однократного подсчета конденсационного счетчика частиц (CPC) и для уменьшения температуры пробы до уровня от 10 до 35 °C на входе CPC.
- b) Вариабельность  $DF_2$  составляет менее 10 %.

1.1.3 Нагреваемая секция, которая испаряет летучие виды, поддерживается при температуре 350 °C  $\pm$ 15 °C.

1.1.4 Если в VPR предусмотрено несколько стадий нагревания, дополнительная регулировка температуры составляет  $\pm$ 15 °C от рабочих температур, указанных изготовителем VPR.

1.1.5 Регулятор давления газа в пробе отвечает следующим требованиям:

- a) Устройство регулирования давления позволяет подавать разбавленную пробу в CPC в пределах  $\pm$ 15 кПа от внешнего (на выхлопе CPC) давления.
- b) Давление не превышает 105 кПа.

1.1.6 Минимальные допустимые доли проникновения частиц через VPR для каждого режима разбавления отвечают техническим требованиям, перечисленным в таблице A7-6.

**Таблица A7-6. Минимальные допустимые доли проникновения через VPR  
при четырех диаметрах частиц**

Диаметр электрической подвижности частицы, $D_m$	15 нм	30 нм	50 нм	100 нм
Минимальная доля проникновения, $\eta_{VPR}(D_m)$	0,30	0,55	0,65	0,70

1.1.7 Эффективность удаления летучих частиц (VRE) уловителя VPR является таковой, чтобы улавливались более 99,5 % татраконтана ( $CH_3(CH_2)_{38}CH_3$ , превышающих 95%-ную чистоту) частиц с концентрацией на входе, составляющей по крайней мере 10,000 частиц/см<sup>3</sup> при диаметре электрической подвижности в 30 нм. Такая VRE демонстрируется, когда VPR работает на минимальном режиме разбавления и при рекомендованной изготовителем рабочей температуре.

1.1.8 Если в VPR используется каталитический удалитель, разбавляющий газ содержит по крайней мере 10 % O<sub>2</sub>.

## 1.2 Стык VPR с CPC

Трубка, соединяющая выход VPR с входом CPC, отвечает следующим требованиям:

- a) Материал является электропроводящим.
- b) Трубка имеет внутренний диаметр больше чем или равный 4 мм.
- c) Время пребывания пробы в трубке меньше чем или равно 0,8 с.

## 1.3 Технические требования к CPC

1.3.1 На каждую конструкцию и модель CPC изготовитель прибора или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что они отвечают перечисленным ниже техническим требованиям к характеристикам.

1.3.2 Допускается функция поправки на совпадение до максимум 10 % поправки. Функция поправки на совпадение не использует какой-либо алгоритм для корректировки или определения эффективности подсчета.

1.3.3 Подсчет частиц отвечает следующим требованиям:

- a) Режим подсчета является режимом однократного подсчета. Использование CPC в фотометрическом режиме не допускается. Таким образом, для обеспечения режима однократного подсчета по мере необходимости увеличивается DF<sub>2</sub>.
- b) Точность подсчета составляет  $\pm 10\%$  от 2000 частиц/см<sup>3</sup> до верхнего порога режима однократного подсчета частиц по отслеживаемому стандарту (ИСО 27891).
- c) Эффективность подсчета превышает или равна 50 % при диаметре электрической подвижности 10 нм и превышает или равна 90 % при диаметре электрической подвижности 15 нм.
- d) Эффективность подсчета определяется с использованием аэрозоля масла Emery.

1.3.4 Частота получения данных превышает или равна 1 Гц в течение минимального интервала в 30 с после стабилизации двигателя.

1.3.5 Численная концентрация частиц сообщается как частицы/см<sup>3</sup> при условиях STP. Если сообщаемое значение не соответствует условиям STP, измеряется абсолютное давление на входе CPC с точностью, превышающей 2 %, с тем чтобы численную концентрацию можно было привести к условиям STP согласно рекомендациям изготовителя.

1.3.6 Разрешающая способность лучше чем 0,1 частиц/см<sup>3</sup> при концентрациях ниже 100 частиц/см<sup>3</sup>.

1.3.7 Время нарастания составляет менее 4 с.

1.3.8 Поток пробы является полнопоточным. Разделение внутри потока не допускается.

1.3.9 Рабочей жидкостью является н-бутанол.

1.3.10 Реакция является линейной.



## 1.4 Требования к системе

$t_{90}$  от входа VPR через CPC равна или меньше 10 с.

## 2. ТАРИРОВКА

### 2.1 VPR

**Рекомендация.** До проведения каждой тарировки VPR он должен быть апробирован "в текущем состоянии" при одном значении  $DF_2$ , характерном для измерений на авиационных газотурбинных двигателях. Такое апробирование должно включать коэффициент разбавления VPR при выбранном значении  $DF_2$ , определение доли проникновения и VRE.

2.1.1 Тарировка  $DF_2$  отвечает следующим требованиям:

- a)  $DF_2$  тарировается на каждом значении разбавления VPR согласно изготовителю VPR.
- b) **Рекомендация.** Тарировка  $DF_2$  должна производиться компетентной лабораторией с использованием либо следовых газов, таких как  $CO_2$ , либо расходомерии.

2.1.2 Тарировка доли проникновения частиц через VPR отвечает следующим требованиям:

- a) Доля проникновения частиц через VPR измеряется при 350 °C с диаметрами электрической подвижности твердых частиц 15, 30, 50 и 100 нм для каждого значения разбавления VPR. В VPR подаются как минимум 5000 частиц/см<sup>3</sup> по всем указанным четырем размерам частиц. Если для проникновения частиц используется сажа, может потребоваться устройство термической подготовки с нагревом до 350 °C для подачи в VPR только нЛГЧ.
- b) Концентрации частиц измеряются выше и ниже по потоку от VPR с помощью CPC, имеющим по крайней мере 90%-ную эффективность подсчета частиц с диаметром электрической подвижности, превышающем или равным 15 нм.
- c) Доля проникновения частиц через VPR определяется следующим образом:

$$\eta_{VPR}(D_m) = \frac{DF_2 \times N_{out}(D_m)}{N_{in}(D_m)},$$

где:

$N_{in}(D_m)$  – численная концентрация частиц с  $D_m$  выше по потоку,

$N_{out}(D_m)$  – численная концентрация частиц с  $D_m$  ниже по потоку,

- d)  $N_{in}(D_m)$  и  $N_{out}(D_m)$  соответствуют одним и тем же условиям Т и Р.
- e) **Рекомендация.** VPR должен быть оттарирован как цельный узел.

#### 2.1.3 VPR VRE

- a) VRE определяется с помощью CPC, имеющего по крайней мере 90%-ную эффективность подсчета частиц с диаметром электрической подвижности, превышающим или равным 15 нм, по следующей формуле:

$$VRE(D_{30}) = 100 \times \left[ 1 - \frac{DF_2 \times N_{out}(D_{30})}{N_{in}(D_{30})} \right],$$

где:

- VRE(D30) – VRE для частиц с D30,  
N<sub>in</sub>(D30) – численная концентрация частиц с D30 выше по потоку,  
N<sub>out</sub>(D30) – численная концентрация частиц с D30 ниже по потоку,  
D30 – диаметр электрической подвижности частиц;

- b) N<sub>in</sub>(D<sub>30</sub>) и N<sub>out</sub>(D<sub>30</sub>) соответствуют одним и тем же условиям Т и Р.

## 2.2 Тарировка СРС

2.2.1 Тарировка СРС отслеживается до стандартного метода тарировки (ИСО 27891): путем сравнения реакции тарируемого СРС с реакцией тарированного аэрозольного электрометра при одновременном отборе проб тарировочных электростатически классифицированных частиц.

2.2.2 **Рекомендация.** *Перед каждой тарировкой СРС он должен быть апробирован ("в текущем состоянии").*

2.2.3 Тарировка и апробирование производятся в соответствии с описанной ниже процедурой:

- a) Эффективность обнаружения СРС тарируется по частицам с диаметром электрической подвижности 10 и 15 нм. СРС имеет эффективность подсчета, превышающую или равную 50 % при 10 нм и превышающую или равную 90 % при 15 нм.
- b) Тарировочным аэрозолем является масло Emery.

— — — — —

## ДОПОЛНЕНИЕ D К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ В ОТНОШЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Как предписывается в п. 3.2 добавления 7, предоставляются данные, содержащиеся в таблицах A7-7 и A7-8.

**Таблица A7-7. Требования в отношении содержания нлТЧ в окружающей среде**

Требуемые данные	Единицы
Массовая концентрация нлТЧ в окружающей среде (нлТЧ <sub>mass_STP</sub> )	мкг/м <sup>3</sup>
Численная концентрация нлТЧ в окружающей среде ( $DF_2 \times \text{нлТЧ}_{\text{num\_STP}}$ )	частицы/см <sup>3</sup>

**Таблица A7-8. Требования в отношении параметров системы отбора проб и измерения нлТЧ**

Параметр	Единица
Температура на входе пробоотборника ( $T_{\text{engine\_exit}}$ ) (Эквивалентна указанной в характеристиках двигателя температуре выхлопных газов $T_{\text{EGT}}$ )	°C
Измеренная температура на входе разбавителя 1 ( $T_1$ )	°C
Индивидуальный расход газов (Измеренные секция 3 и секция 4; практическая оценка секции 1, секции 2)	ст.л/мин
Внутренние диаметры отдельных труб для секций 1–4	мм
Длина отдельных секций 1–4	м
Температуры стенок отдельных труб для секций 1–4	°C
Общий угол изгиба(ов) трубки отбора проб секции 1	градусы
Граница раздела фракций $D_{50}$ циклонного сепаратора (спецификация изготовителя)	нм
Точность раздела циклонного сепаратора (спецификация изготовителя)	десятичная дробь
Четыре значения проникновения через разбавитель 1 (дополнение A, таблица A7-2)	десятичная дробь
Четыре значения проникновения для тарировки VPR (дополнение C, таблица A7-6)	десятичная дробь
Два значения эффективности подсчета для тарировки CPC	десятичная дробь
Коэффициент разбавления первой стадии, $DF_1$	
Коэффициент разбавления второй стадии (VPR), $DF_2$	
Массовая концентрация частиц с поправкой на $DF_1$ : $DF_1 \times \text{нлТЧ}_{\text{massSTP}}$	мкг/м <sup>3</sup>
Численная концентрация частиц с поправкой на $DF_1$ и $DF_2$ : $DF_1 \times DF_2 \times \text{нлТЧ}_{\text{numSTP}}$	частицы/см <sup>3</sup>



## **ДОПОЛНЕНИЕ Е К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ПРАВИЛА ПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМОЙ**

### **1. ПРОВЕРКА КОЛЛЕКТОРНОГО БЛОКА И ГАЗОВОЙ ЛИНИИ НА УТЕЧКУ**

#### **1.1 Процедура проверки на утечку**

До проведения серии испытаний коллекторный блок и GL проверяются на утечку согласно следующей процедуре:

- a) изолировать GL от измерительного блока нЛТЧ с помощью отсечного клапана 1, регулировочного клапана давления  $P_1$  и дополнительного запорно-выпускного клапана, если таковой установлен;
- b) изолировать пробоотборник и анализаторы;
- c) подсоединить и включить вакуумный насос для проверки величины утечки в системе;
- d) при отсутствии потока разряжение в вакуумном насосе по отношению к атмосферному давлению составляет  $-75$  кПа; при нормальной температуре и давлении полный расход через него составляет не менее 28 л/мин.

#### **1.2 Требование в отношении проверки на утечку**

Величина утечки в системе составляет менее 0,4 ст. л/мин.

### **2. ПРОВЕРКА КОЛЛЕКТОРНОГО БЛОКА И ГАЗОВОЙ ЛИНИИ НА ЧИСТОТУ**

#### **2.1 Процедура проверки на чистоту**

Коллекторный блок и GL проверяются на чистоту согласно следующей процедуре:

- a) изолировать GL от измерительного блока нЛТЧ с помощью отсечного клапана 1 и регулировочного клапана давления  $P_1$ ;
- b) изолировать GL от пробоотборника и подсоединить конец линии отбора проб к источнику нулевого газа;
- c) подогреть систему до рабочей температуры, необходимой для проведения измерений содержания HC;
- d) включить насос отбора проб и установить величину расхода, равную величине, которая используется при испытаниях на эмиссию двигателей;
- e) зарегистрировать показание анализатора содержания HC.

## 2.2 Требование в отношении проверки на чистоту

2.2.1 Показание содержания НС не превышает 1 % от уровня эмиссии двигателя на режиме малого газа или 1 ppm (выраженных через содержание метана), в зависимости от того, какая величина больше.

2.2.2 **Рекомендация.** Рекомендуется контролировать качество всасываемого воздуха в начале и конце испытания двигателя и по крайней мере каждый час в ходе испытания. Если уровни НС считаются значительными, то их следует учитывать.

## 3. ПРОВЕРКА ПЕРЕДАТОЧНОГО БЛОКА НА ЧИСТОТУ/УТЕЧКУ

*Примечание 1. Проверки на чистоту могут дать отрицательные результаты из-за загрязнения компонентов передаточного блока или утечек в передаточном/измерительном блоках.*

*Примечание 2. Утечка в системе приведет к всасыванию в систему частиц окружающего воздуха.*

### 3.1 Процедура проверки на чистоту/утечку

3.1.1 До проведения серии испытаний двигателя передаточный блок проверяется на чистоту и утечку согласно следующей процедуре:

- а) подать фильтрованный разбавляющий газ через разбавитель 1 при закрытом отсечном клапане 1;
- б) величины расхода газа в каждом потоке разделителя 2 равны величинам, используемым при испытании двигателя;
- в) установить  $DF_2$  на самое нижнее значение VPR.

3.1.2 Когда измеренные массовые и численные концентрации нЛТЧ стабилизируются, регистрировать данные в течение как минимум 30 с.

*Примечание. Технологическая схема проверки на чистоту передаточного блока показана на рис. А7-4.*

### 3.2 Требование в отношении проверки на чистоту/утечку

3.2.1 30-секундная усредненная массовая концентрация нЛТЧ ( $nLTCh_{mass\_STP}$ ) составляет менее  $1 \text{ мкг/м}^3$ .

3.2.2 30-секундная усредненная численная концентрация нЛТЧ ( $nLTCh_{num\_STP}$ ) составляет менее  $2,0 \text{ частиц/см}^3$ .

3.2.3 **Рекомендация.** Если проверка на чистоту дает отрицательный результат, систему сначала следует проверить на утечку. Если утечки не обнаружены, следует осмотреть и промыть коллекторный резервуар циклонного сепаратора. Если проверка на чистоту все-таки дает отрицательный результат, возможно потребуется промыть или заменить отрезки системы отбора проб.

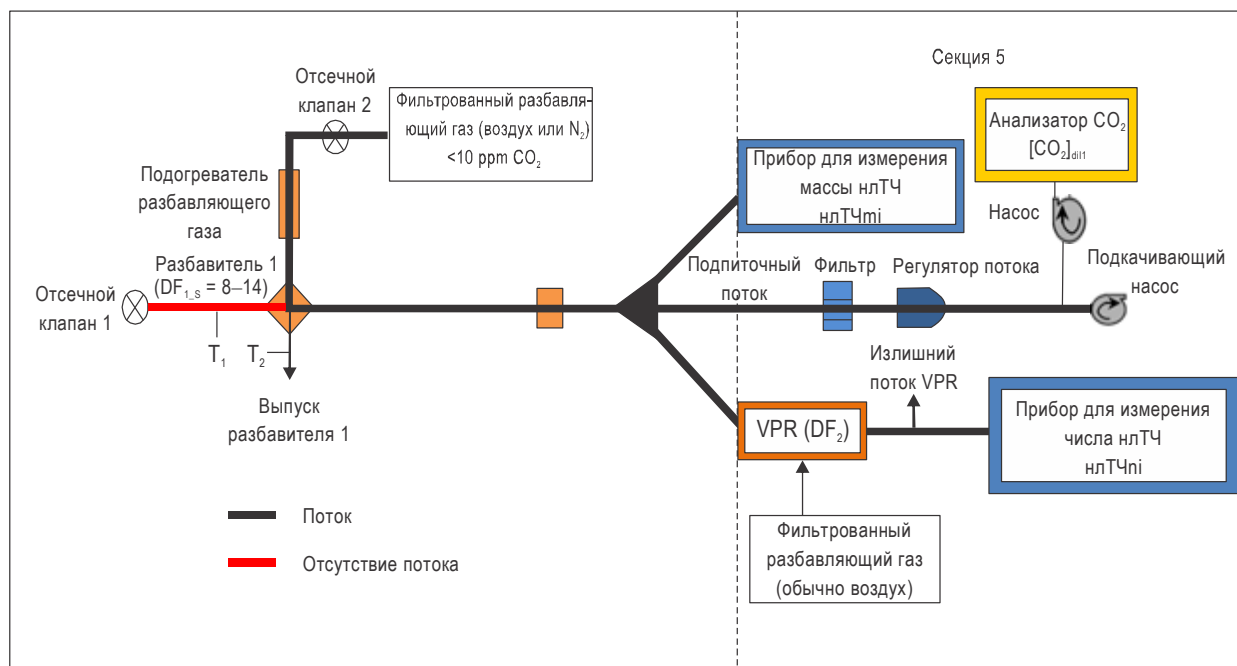


Рис. А7-4. Технологическая схема проверки передаточного блока на чистоту

#### 4. ОБРАТНАЯ ПРОДУВКА КОЛЛЕКТОРНОГО БЛОКА

Для очистки пробоотборников и линий отбора проб секции 1 от несгоревшего топлива осуществляется обратная продувка секции 1 во время запуска и выключения двигателя, как показано на рис. А7-5.

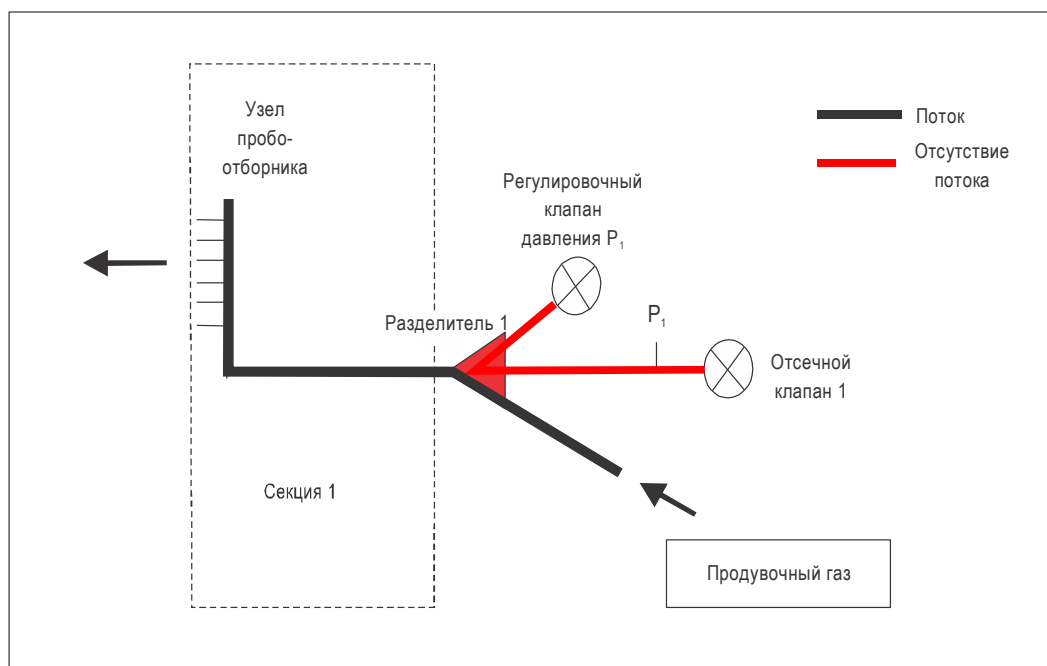


Рис. А7-5. Технологическая схема обратной продувки секции 1

## 5. ИЗМЕРЕНИЕ нлТЧ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

### 5.1 Общие положения

5.1.1 До и после испытания двигателя замеряются массовая и численная концентрации нлТЧ в окружающей среде, репрезентативные для воздухозаборника двигателя, и сообщаются как среднее значение этих двух измерений.

5.1.2 **Рекомендация.** Для получения репрезентативности в закрытой испытательной камере рекомендуется делать замеры частиц в окружающей среде во время работы двигателя. Первый замер окружающей среды следует сделать как минимум через 5 мин после запуска двигателя.

### 5.2 Процедура отбора нлТЧ в окружающей среде

Массовая и численная концентрации нлТЧ в окружающей среде, репрезентативные для воздухозаборника двигателя, отбираются следующим образом:

#### 5.2.1 Метод 1: отбор через выпуск разбавителя 1

Для отбора через выпуск разбавителя 1 используется система отбора проб и измерения нлТЧ.

При отборе проб через выпуск разбавителя 1 используется следующая процедура:

- a) Перекрыть подачу разбавляющего газа в разбавитель 1 отсечным клапаном 2 и убедиться, что отсечной клапан 1 закрыт.
- b) **Рекомендация.** Когда перекрывается поток разбавляющего газа, следует не допускать перегрева нагревателя разбавляющего газа.
- c) Проследить, чтобы значения расхода газа в каждом потоке разделителя 2 были равны значениям, используемым во время испытания двигателя.
- d) Когда измеренные массовая и численная концентрации нлТЧ стабилизируются, регистрировать данные как минимум в течение 3 мин.

*Примечание. Технологическая схема измерения нлТЧ в окружающей среде по методу 1 показана на рис. А7-6.*

Такая схема используется только в том случае, если расположение выпускного отверстия дает представительную пробу воздухозаборника двигателя.



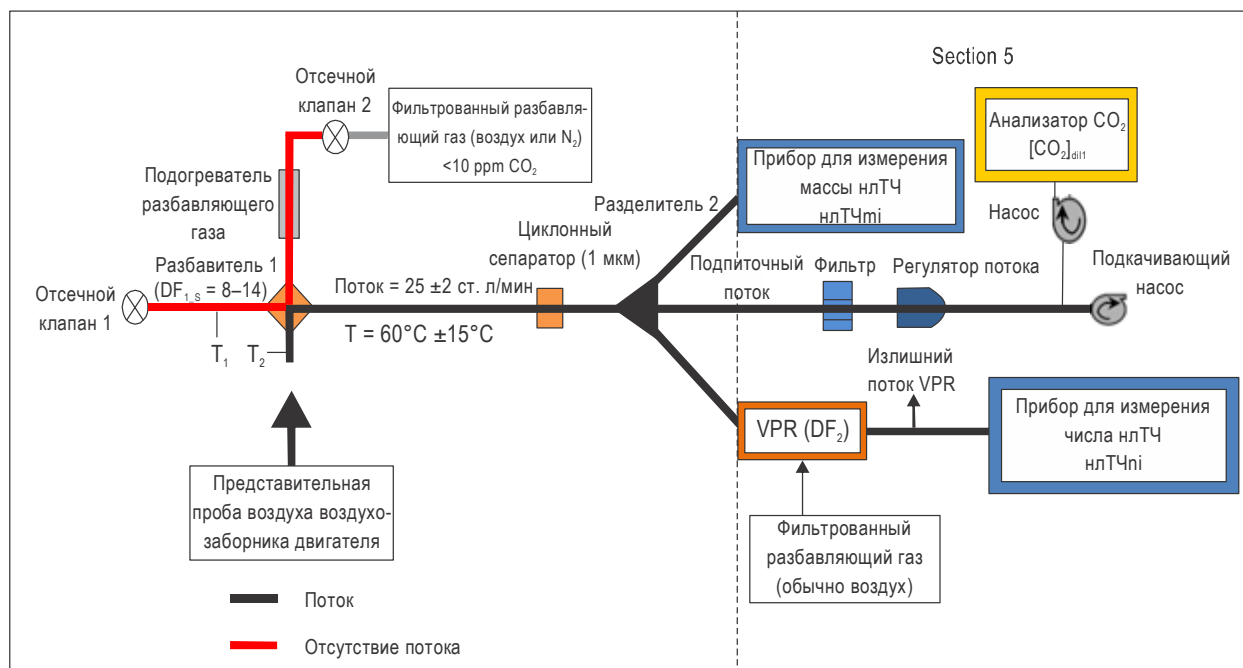


Рис. А7-6. Технологическая схема измерения частиц в окружающем воздухе

### 5.2.2 Метод 2: дополнительная система измерения нЛТЧ

5.2.2.1 Дополнительная система отбора проб и измерения нЛТЧ в окружающей среде отвечает следующим требованиям:

- система отбора проб нЛТЧ в окружающей среде соответствует содержащимся в дополнении А к настоящему добавлению требованиям в отношении секции 3 и секции 4 системы отбора проб;
- нЛТЧ<sub>mi</sub>, VPR и нЛТЧ<sub>ni</sub> соответствуют дополнениям В и С к настоящему добавлению;
- входной патрубок системы отбора проб нЛТЧ в окружающей среде располагается в пределах 50 м от входного сечения воздухозаборника двигателя.

5.2.2.2 При отборе проб с помощью дополнительной системы отбора проб и измерения нЛТЧ используется следующая процедура:

- проследить, чтобы значения расхода газа в каждом канале разделителя 2 были равны значениям, используемым во время испытания двигателя;
- когда измеренные массовые и численные концентрации нЛТЧ стабилизируются, регистрировать данные как минимум в течение 3 мин.

## 5.3 Требования в отношении частиц в окружающей среде

5.3.1 Сообщаются трехминутные усредненные значения массовой концентрации нЛТЧ (нЛТЧ<sub>mass\_STP</sub>) и численной концентрации нЛТЧ с поправкой на DF<sub>2</sub> (DF<sub>2</sub> × нЛТЧ<sub>num\_STP</sub>).

*Примечание.* Уровень массовой концентрации нЛТЧ в окружающей среде может быть ниже LOD прибора нЛТЧ<sub>mi</sub>.

**5.3.2 Рекомендация.** Среднее значение концентрации нЛТЧ<sub>и</sub> с поправкой на  $DF_2$  должно быть больше десятикратного значения, замеренного при проверке на чистоту. Если такая проверка дает отрицательный результат, следует проверить работу системы (местоположения клапанов, значения расхода газа, давления и температуры) и повторить измерения.

**5.3.3 Рекомендация.** Если уровни нЛТЧ в окружающей среде считаются значительными, тогда их следует принимать во внимание.

## 6. ПРОВЕРКА ТАРИРОВКИ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗБАВЛЕНИЯ VPR

6.1 Коэффициенты разбавления VPR ( $DF_2$ ), которые предполагается использовать во время испытания двигателя, проверяются с помощью следующих компонентов:

- а) газоанализатор  $CO_2$ , соответствующий дополнению В к добавлению 3;
- б) сертифицированный газ  $CO_2$  высокой концентрации с чистотой  $CO_2$  2,0 (больше чем 99,0 %).

*Примечание.* Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501);

- с) подсоединить газоанализатор  $CO_2$  к выходу VPR с помощью соединительного тройника во избежание повышения давления пробы  $CO_2$ ;
- д) подсоединить газ  $CO_2$  высокой концентрации к входу VPR с использованием соединительного тройника и регулировочного клапана потока для создания давления на входе VPR, соответствующего условиям испытания двигателя;
- е) обеспечить на входе VPR такой же расход и давление пробы газа, как и во время испытания двигателя.

*Примечание.* Технологическая схема проверки коэффициента разбавления VPR показана на рис. А7-7.

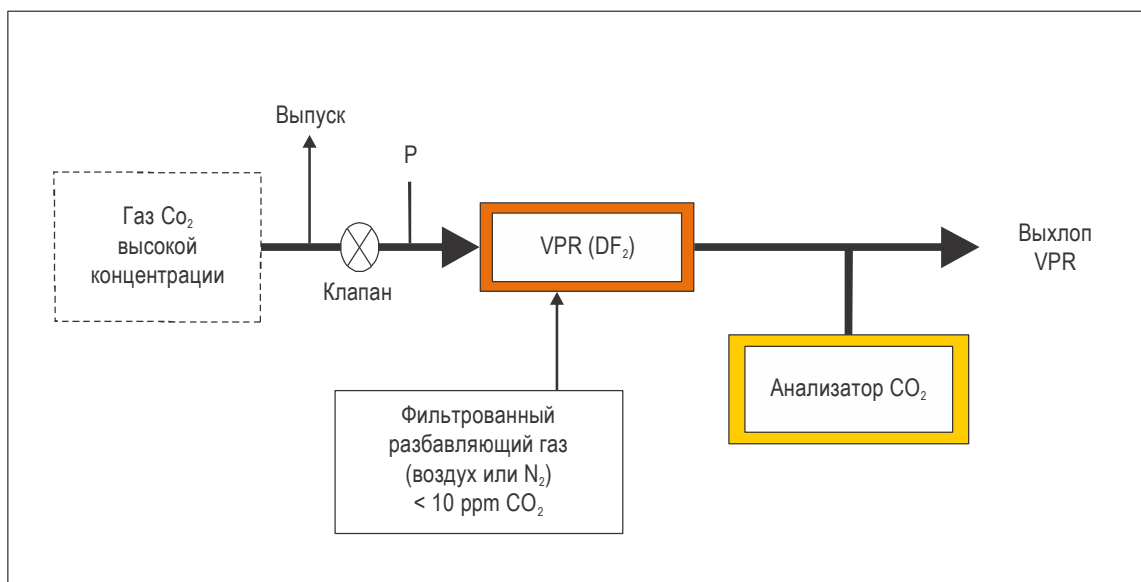


Рис. А7-7. Схема проверки коэффициента разбавления VPR

6.2 Коэффициент разбавления VPR ( $DF_2$ ) проверяется с помощью следующей процедуры:

- a) прогреть VPR и убедиться, что достигнуты рабочие температуры;
- b) проверить, чтобы входной патрубок VPR всасывал поток проб;
- c) соответственно прогреть анализатор  $CO_2$  и подготовиться к регистрации данных;
- d) ввести соответствующий нулевой тарировочный газ в анализатор  $CO_2$  и произвести необходимую настройку приборов;
- e) ввести соответствующий тарировочный газ, концентрация которого соответствует 90 % номинального значения FS анализатора  $CO_2$  для всех подлежащих использованию диапазонов, и соответственно настроить и зарегистрировать уровни усиления;
- f) обеспечить надлежащий уровень потока пробы в анализатор  $CO_2$  (может потребоваться насос выше по потоку от анализатора  $CO_2$ );
- g) подать газ  $CO_2$  высокой концентрации на вход VPR, обеспечив наличие излишнего потока на выпуске выше по потоку от входа VPR.
- h) установить VPR на значение коэффициента разбавления;
- i) настроить регулировочный клапан потока на входе VPR, создав падение давления, имитирующее давление пробы ниже окружающего давления на входе VPR при проведении измерения нЛТЧпi во время испытания двигателя;
- j) отобрать пробу выхлопного потока VPR с помощью газоанализатора  $CO_2$ ;
- k) когда показания газоанализатора  $CO_2$  стабилизируются, зарегистрировать показания концентрации  $CO_2$  как минимум в семи точках измерения в течение 3-минутного периода и рассчитать среднюю величину;
- l) рассчитать среднее значение  $DF_2$  как отношение средних значений измерения  $CO_2$  и концентрации сертифицированного газа  $CO_2$ ;
- m) повторить операции в пп. 6.2 h)–6.2 l) выше для каждого значения разбавления VPR, подлежащего использованию во время испытания двигателя.

6.3 Рассчитанные средние значения  $DF_2$  сравниваются с результатами тарировки компетентной лаборатории.

Если разница:

- a) меньше или равна  $\pm 10\%$ , используются значения  $DF_2$  тарировки компетентной лаборатории;
- b) выше  $\pm 10\%$ , значения  $DF_2$  VPR повторно определяются по тарировке компетентной лабораторией.

*Примечание. Инструктивный материал об использовании эквивалентной методики приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*



## **ДОБАВЛЕНИЕ 8. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ ПОПРАВОК НА ПОТЕРИ нЛТЧ В СИСТЕМЕ**

*Примечание 1. Изложенные в настоящем добавлении процедуры касаются определения поправочных коэффициентов на потери в системе отбора проб и измерения нелетучих твердых частиц (нЛТЧ), за исключением термофоретической потери в коллекторном блоке, которая включена в сообщаемые данные согласно добавлению 7.*

*Примечание 2. В системе отбора проб и измерения нЛТЧ необходимо использовать длинную, до 35 м, линию отбора проб и предусмотреть несколько компонентов отбора проб и измерения, что может привести к значительной потере частиц – порядка 50 % массы нЛТЧ и 90 % числа нЛТЧ. Потери частиц зависят от размеров и таким образом зависят от режима работы двигателя, конструкции камеры сгорания и возможно других факторов. Изложенные в настоящем добавлении процедуры позволяют оценить потери частиц.*

*Примечание 3. Оценка поправочных коэффициентов на потерю в системе основывается на следующих допущениях: нЛТЧ в выходной плоскости выпускного сопла двигателя имеют логарифмически нормальное распределение, постоянное значение эффективной плотности нЛТЧ, фиксированное значение геометрического стандартного отклонения, ограничивающее массовую концентрацию нЛТЧ до предела обнаружения, минимальную границу размеров частиц в 0,01 мкм и коагуляция отсутствует.*

*Примечание 4. В предлагаемом в настоящем добавлении методе используются данные и измерения, изложенные в добавлении 7 и дополнениях к нему. Условные обозначения и определения, которые не приведены в настоящем добавлении, определены в добавлении 7 и дополнениях.*

### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1 В системе отбора проб и измерения нЛТЧ частицы оседают на стенках системы отбора проб под действием механизмов осаждения. Эти потери как зависят, так и не зависят от размеров. Независящая от размеров термофоретическая потеря в коллекторном блоке указана в п. 6.2.1 добавления 7.

1.2 Общая потеря частиц в системе отбора проб и измерения нЛТЧ, за исключением коллекторного блока, называется потерей в системе.

1.3 Необходимо принимать во внимание распределение нЛТЧ по размерам, поскольку механизмы потери зависят от размера частиц. Эти зависящие от размера частиц потери количественно выражаются в виде доли частиц данного размера, которые проникают через систему отбора проб.

### **2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, АКРОНИМЫ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

#### **2.1 Определения**

В тех случаях, когда в настоящем добавлении употребляются приведенные ниже термины, они имеют следующие значения:

**Аэродинамический диаметр частицы.** Диаметр сферической частицы с относительной плотностью, равной плотности единицы, которая имеет такую же конечную скорость осаждения, как и искомая частица, также называемый "классический аэродинамический диаметр".

**Диаметр электрической подвижности частицы.** Диаметр сферической частицы, имеющий точно такую же подвижность в электрическом поле, как и искомая частица.

**Доля проникновения.** Отношение концентрации частиц ниже по потоку и выше по потоку от элемента системы отбора проб.

**Компетентная лаборатория.** Испытательная и тарировочная лаборатория, которая разрабатывает, внедряет и применяет систему качества, отвечающую масштабам ее деятельности, в соответствии со стандартом ИСО/IEC 17025:2005 (время от времени изменяемым) Международной организации по стандартизации или с эквивалентным стандартом и для которой предназначена и действует программа тарировки оборудования, с тем чтобы обеспечить отслеживаемость осуществляемых лабораторией измерений и тарировки до Международной системы единиц (СИ). Официальной аккредитации лаборатории по ИСО/IEC 17025:2005 не требуется.

**Массовая концентрация частиц.** Масса частиц на единицу объема пробы.

**Массовый индекс эмиссии частиц.** Масса частиц, выпускаемых на единицу расходуемой массы топлива.

**Нелетучие твердые частицы (нлТЧ).** Испускаемые частицы, присутствующие в выходной плоскости выхлопного сопла газотурбинного двигателя, которые при нагревании до температуры 350 °С не испаряются

**Потеря частиц.** Потеря частиц во время прохождения через систему отбора проб. Такая потеря имеет место из-за различных механизмов осаждения, некоторые из которых зависят от размеров.

**Распределение частиц по размерам.** Перечень значений математической функции, которая обозначает численную концентрацию частиц согласно их размерам

**Циклонный сепаратор.** Отделение частиц более крупного чем установленный аэродинамический диаметр размера за счет вращательного и гравитационного эффекта. Указанный граничный аэродинамический диаметр соотносится с процентом частиц конкретного размера, проникающих через циклонный сепаратор.

**Численная концентрация частиц.** Число частиц на единицу объема пробы.

**Численный индекс эмиссии частиц.** Число частиц, выпускаемых на единицу расходуемой массы топлива.

## 2.2 Акронимы

нлТЧ	Нелетучие твердые частицы (см. определение)
нлТЧ <sub>mi</sub>	Прибор для измерения массы нелетучих твердых частиц
нлТЧ <sub>ni</sub>	Прибор для измерения числа нелетучих твердых частиц
ст. л/мин	Стандартные литры в минуту (литры в минуту при STP)
CPC	Конденсационный счетчик частиц
STP	Состояние прибора при стандартной температуре 0 °С и давлении 101,325 кПа
VPR	Уловитель летучих частиц

## 2.3 Условные обозначения

$C_c$	$1 + \frac{2\lambda}{D_m} \times \left(1,165 + 0,483 \times e^{-\frac{0,997 D_m}{2\lambda}}\right)$ , безразмерный поправочный коэффициент Каннингэма на проскальзывание
$DF_1$	Коэффициент разбавления первой стадии
$DF_2$	Коэффициент разбавления второй стадии (VPR) согласно тарифовке
$D$	$\frac{k_B \times (273,15 + T_i) \times C_c}{3 \times \pi \times \mu \times D_m \times 10^{-4}}$ , коэффициент диффузии частиц, см <sup>2</sup> /с
$D_m$	Диаметр электрической подвижности нЛТЧ, мкм
$D_{mg}$	Геометрический средний диаметр, мкм
$\delta$	Сумма квадратов относительной разницы между измеренной и расчетной массовой и численной концентрациями с поправкой на разбавление
$EI_{mass}$	Массовый индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на термофоретические потери, в мг/кг топлива
$EI_{num}$	Численный индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на термофоретические потери, в число/кг топлива
$\varepsilon$	Критерий сходимости ( $1 \times 10^{-9}$ )
$f_{lgn}(D_m)$	Функция логарифмически нормального распределения с параметрами геометрического стандартного отклонения, $\sigma_g$ , и геометрического среднего диаметра, $D_{mg}$
$f_N(D_m)$	Функция логарифмически нормального распределения числа частиц в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя
$ID_{ii}$	Внутренний диаметр $i^{To}$ отрезка линии отбора проб, мм
$k_B$	$1,3806 \times 10^{-16}$ (Г·см <sup>2</sup> )/(с <sup>2</sup> ·К)
$k_{SL_{mass}}$	Поправочный коэффициент $EI_{mass}$ на системные потери без поправки на термофоретическую потерю в коллекторном блоке, мкг/м <sup>3</sup>
$k_{SL_{num}}$	Поправочный коэффициент $EI_{num}$ на системные потери без поправки на термофоретическую потерю в коллекторном блоке, число/см <sup>3</sup>
$k_{thermo}$	Поправочный коэффициент на термофоретическую потерю в коллекторном блоке, указанный в п. 6.2.1 добавления 7
$\lambda$	$67,3 \times 10^{-3} \times \left(\frac{273,15 + T_i}{296,15}\right) \times \left(\frac{101,325}{P_i}\right) \times \left(\frac{406,55}{T_i + 383,55}\right)$ , средняя длина свободного пробега транспортировочного газа, мкм
$нЛТЧ_{mass\_EST}$	Оценка неразбавленной (т. е. с поправкой на разбавление) приборной массовой концентрации, мкг/м <sup>3</sup>
$нЛТЧ_{num\_EST}$	Оценка неразбавленной (т. е. с поправкой на разбавление) приборной численной концентрации, число/см <sup>3</sup>
$нЛТЧ_{mass\_EP}$	Оценка массовой концентрации нЛТЧ в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя, указанной в разделе 4 настоящего добавления, без поправки на термофоретические потери в коллекторном блоке

$nлТЧ_{num\_EP}$	Оценка численной концентрации нлТЧ в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя, указанной в разделе 4 настоящего добавления, без поправки на термофоретические потери в коллекторном блоке
$nлТЧ_{mass\_STP}$	Разбавленная массовая концентрация нлТЧ при состоянии прибора STP, мкг/м <sup>3</sup>
$nлТЧ_{num\_STP}$	Разбавленная численная концентрация нлТЧ при состоянии прибора STP, число/см <sup>3</sup>
$\eta_{mass}(Dm)$	Доля проникновения частиц через систему отбора проб и измерения в целом для нлТЧ <sub>mi</sub> без термофоретических потерь в коллекторном блоке при электрической подвижности частиц размером Dm
$\eta_{num}(Dm)$	Доля проникновения частиц через систему отбора проб и измерения в целом для нлТЧ <sub>ni</sub> без термофоретических потерь в коллекторном блоке при электрической подвижности частиц размером Dm
$\eta_i(Dm)$	Доля проникновения частиц для $i^{го}$ компонента системы отбора проб и измерения
$\eta_{bi}(Dm)$	Доля проникновения частиц через изгиб линии отбора проб для $i^{го}$ компонента системы отбора проб и измерения
$\rho$	Принятая эффективная плотность нлТЧ, г/см <sup>3</sup>
$\sigma_g$	Принятое геометрическое стандартное отклонение логарифмически нормального распределения
$Q_i$	Поток транспортирующего газа в $i^{ом}$ отрезке линии отбора проб, ст. л/мин
$Re$	$\frac{2 \times \rho_{gas} \times Q_i}{3 \times \pi \times \mu \times ID_{ti}}$ , число Рейнольдса транспортирующего газа
$T_i$	температура транспортирующего газа в $i^{ом}$ отрезке линии отбора проб, °C.

### 3. ПОПРАВОЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

#### МАССЫ нлТЧ И ЧИСЛЕННЫХ EI

**3.1 Рекомендация.** Поправочный коэффициент  $EI_{mass}$  на системные потери – это отношение между оцененной массовой концентрацией выходной плоскости выхлопного сопла двигателя без поправки на термофоретическую потерю в коллекторном блоке и измеренной массовой концентрацией, и он должен быть рассчитан следующим образом:

$$k_{SL_{mass}} = \frac{nvPM_{mass\_EP}}{DF_1 \times nvPM_{mass\_STP}}.$$

**3.2 Рекомендация.** Поправочный коэффициент  $EI_{num}$  на потери в системе – это отношение между оцененной численной концентрацией в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя без поправки на термофоретическую потерю в коллекторном блоке и измеренной численной концентрацией, и он должен быть рассчитан следующим образом:

$$k_{SL_{num}} = \frac{nvPM_{num\_EP}}{DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num\_STP}}.$$



#### 4. ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ МАССОВОЙ И ЧИСЛЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ВЫХОДНОЙ ПЛОСКОСТИ ВЫХЛОПНОГО СОПЛА ДВИГАТЕЛЯ С ПОПРАВКОЙ НА ПОТЕРИ В СИСТЕМЕ

4.1 **Рекомендация.** Масса ( $нлТЧ_{mass\_EP}$ ) и число ( $нлТЧ_{num\_EP}$ ) в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя следует определять с помощью следующей процедуры:

- Для измеренного  $нлТЧ_{num\_STP}$  начать с первоначального значения  $нлТЧ_{num\_EP} = 3 \times DF_1 \times DF_2 \times нлТЧ_{num\_STP}$ .
- Для геометрического среднего диаметра,  $D_{mg}$ , логарифмически нормального распределения размеров частиц следует принимать первоначальное значение, равное 0,02 мкм.
- Начиная с первоначально принятых значений  $нлТЧ_{num\_EP}$  и  $D_{mg}$  из а) и б), оценить массовые ( $нлТЧ_{mass\_EST}$ ) и численные ( $нлТЧ_{num\_EST}$ ) концентрации нлТЧ с помощью следующих уравнений:

$$нлТЧ_{mass\_EST} = \sum_{D_m=0,01\mu m}^{1\mu m} \eta_{mass}(D_m) \times \frac{\rho \pi D_m^3}{6} \times нлТЧ_{num\_EP} \times f_{lgn}(D_m) \times \Delta \ln(D_m),$$

$$нлТЧ_{num\_EST} = \sum_{D_m=0,01\mu m}^{1\mu m} \eta_{num}(D_m) \times нлТЧ_{num\_EP} \times f_{lgn}(D_m) \times \Delta \ln(D_m),$$

где:

$$f_{lgn}(D_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_g)} \times e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2}.$$

$\Delta \ln(D_m) = \frac{1}{n} \times \frac{1}{\log_{10}(e)}$ , является шириной размерного накопителя в натуральном логарифме;  $e$  – число Эйлера,  $n$  – число размерных накопителей частиц на десятичную основу.

- Определить разницу,  $\delta$ , между  $нлТЧ_{num\_STP}$ ,  $нлТЧ_{mass\_STP}$  и оценками численной концентрации ( $нлТЧ_{num\_EST}$ ) нлТЧ и массовой концентрации ( $нлТЧ_{mass\_EST}$ ) нлТЧ по первоначальным значениям в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя с помощью следующего уравнения:

$$\delta = \left( \frac{DF_1 \times DF_2 \times нлТЧ_{num\_STP} - нлТЧ_{num\_EST}}{DF_1 \times DF_2 \times нлТЧ_{num\_STP}} \right)^2 + \left( \frac{DF_1 \times нлТЧ_{mass\_STP} - нлТЧ_{mass\_EST}}{DF_1 \times нлТЧ_{mass\_STP}} \right)^2.$$

- Повторить этапы с)–д), изменяя  $нлТЧ_{num\_EP}$  и  $D_{mg}$  пока  $\delta$  не уменьшится до менее  $1 \times 10^{-9}$ .
- После того как  $\delta$  уменьшится до менее  $1 \times 10^{-9}$ , окончательными значениями  $нлТЧ_{num\_EP}$  и  $D_{mg}$  будут значения, связанные с этим минимизированным значением  $\delta$ .
- Используя  $нлТЧ_{num\_EP}$  и  $D_{mg}$  из этапа ф),  $нлТЧ_{mass\_EP}$  должна быть определена с помощью следующего выражения:

$$нлТЧ_{mass\_EP} = \sum_{D_m=0,01\mu m}^{1\mu m} \frac{\rho \pi D_m^3}{6} \times нлТЧ_{num\_EP} \times f_{lgn}(D_m) \times \Delta \ln(D_m).$$

4.2 **Рекомендация.** При этих расчетах следует использовать в целом 80 дискретных размеров частиц в диапазоне от 0,003 до 1 мкм. В этом случае число размерных накопителей на десятичную основу,  $n$ , составляет 32 (см. определение  $\Delta \ln(D_m)$  выше). Суммы в вышеуказанных уравнениях начинаются при 0,01 мкм.

4.3 **Рекомендация.** Эффективная плотность нЛТЧ должна быть постоянной и равной  $1 \text{ г/см}^3$  по всем размерам частиц.

4.4 **Рекомендация.** Геометрическое стандартное отклонение логарифмически нормального распределения числа частиц должно быть равно 1,8.

Примечание 1. На схематической диаграмме (рис. А8-1) эта процедура показана наглядно.

Примечание 2. Если  $\text{нЛТЧ}_{\text{mass\_STP}}$  меньше чем  $1 \text{ мкг/м}^3$ , для обеспечения сходимости процедуры следует использовать минимальное значение  $1 \text{ мкг/м}^3$ .

Примечание 3. Изложенная в разделе 3 процедура решается с помощью имеющихся в продаже компьютерных программ.

Примечание 4. Единицы  $D_m$  выражены в мкм, что отличается от значений, указанных в таблице в добавлении 7.

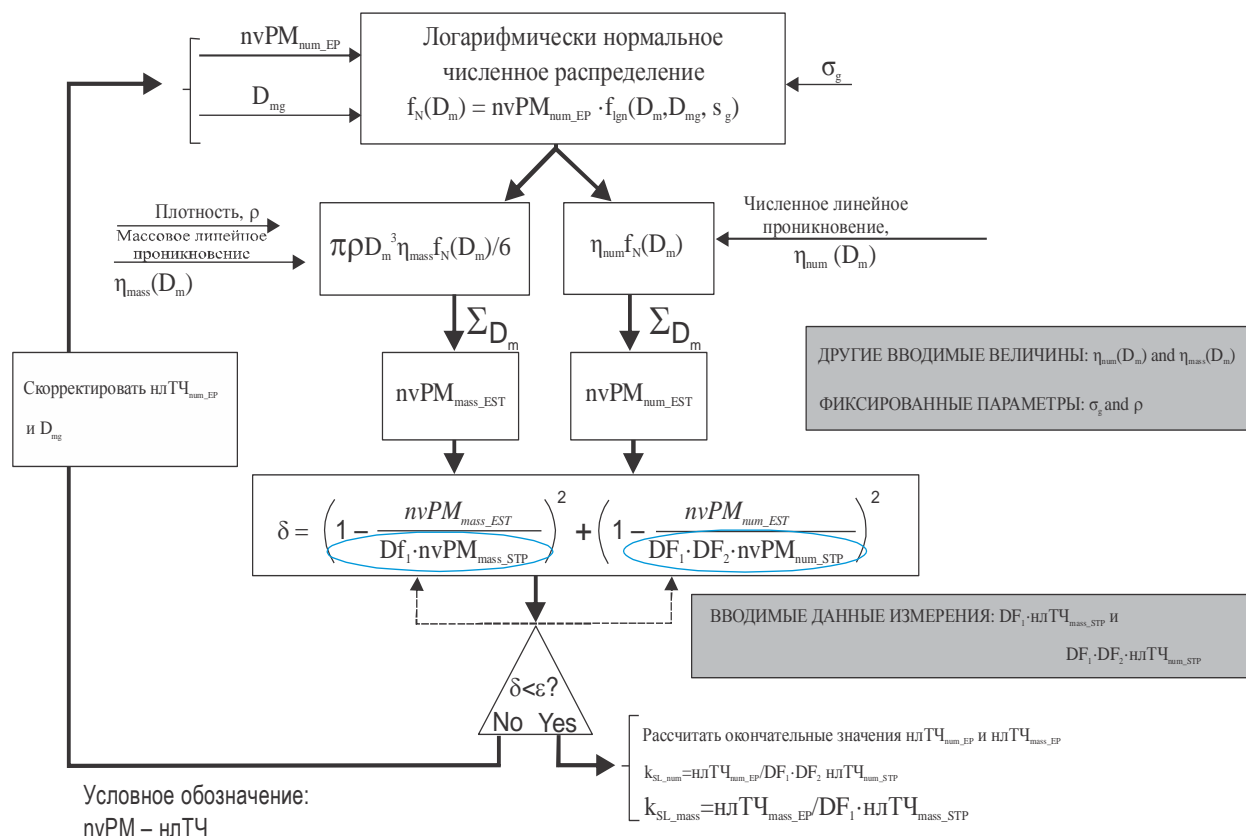


Рис. А8-1. Итеративный метод расчета массы и числа нЛТЧ с поправкой на потери, кроме термофореза в коллекторном блоке

## 5. ДОЛИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ В ЦЕЛОМ

Примечание 1. Доли проникновения частиц между измерением массовой концентрации нЛТЧ и измерением численной концентрации нЛТЧ различны из-за различия в каналах потока проб после разделителя 2.

Примечание 2. Доли проникновения частиц могут меняться между точками измерения различных режимов двигателя вследствие изменения распределения размеров частиц.

Примечание 3. При расчете непрерывных функций для оценки доли проникновения или эффективности подсчета СРС необходимо следить, чтобы они не опускались ниже нуля.

**Таблица А8-1. Требуемые доли проникновения частиц через компоненты системы отбора проб и измерения нлТЧ**

<i>Условное обозначение параметра</i>	<i>Описание</i>
$\eta_1(D_m)$	Секция 1. Вход пробоотборника к разделителю 1
$\eta_{b1}(D_m)$	Секция 1. Вход пробоотборника к разделителю 1 для изгибов
$\eta_2(D_m)$	Секция 2. Разделитель 1 к входу разбавителя 1
$\eta_{b2}(D_m)$	Секция 2. Разделитель 1 к входу разбавителя 1 для изгибов линии отбора проб
$\eta_{dil}(D_m)$	Секция 2. Разбавитель 1
$\eta_3(D_m)$	Секция 3. От выхода разбавителя 1 до входа циклонного сепаратора
$\eta_{b3}(D_m)$	Секция 3. От выхода разбавителя 1 до входа циклонного сепаратора для изгибов линии отбора проб
$\eta_{cyc}(D_m)$	Циклонный сепаратор
$\eta_4(D_m)$	Секция 4. От выхода циклонного сепаратора до разделителя 2
$\eta_{b4}(D_m)$	Секция 4. От выхода циклонного сепаратора до разделителя 2 для изгибов линии отбора проб
$\eta_5(D_m)$	Секция 4. От разделителя 2 до нлТЧ <sub>mi</sub>
$\eta_{b5}(D_m)$	Секция 4. От разделителя 2 до нлТЧ <sub>mi</sub> для изгибов линии отбора проб
$\eta_{th\_m}$	Секция 5. Из-за термофоретической потери на входе нлТЧ <sub>mi</sub>
$\eta_6(D_m)$	Секция 4. От разделителя 2 до VPR
$\eta_{b6}(D_m)$	Секция 4. От разделителя 2 до VPR для изгибов линии отбора проб
$\eta_{VPR}(D_m)$	Секция 5. VPR
$\eta_{CPC}(D_m)$	Секция 5. Эффективность подсчета (СРС) нлТЧ <sub>ni</sub>
$\eta_{th\_n}$	Секция 5. Из-за термофоретической потери на входе нлТЧ <sub>ni</sub>

### 5.1 Доля проникновения частиц через систему по массе нлТЧ

**Рекомендация.** Общая доля проникновения по массе нлТЧ для 80 дискретных размеров частиц ( $D_m$ ) от 0,003 до 1 мкм должна быть рассчитана путем объединения долей проникновения через компоненты системы:

$$\eta_{mass}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_3 \times \eta_{b3} \times \eta_{cyc} \times \eta_4 \times \eta_{b4} \times \eta_5 \times \eta_{b5} \times \eta_{th\_m},$$

где  $\eta$  с нижними индексами означает доли проникновения через отдельные компоненты системы отбора проб и измерения нлТЧ, определенные в таблице А8-1. Процедуры оценки долей проникновения через отдельные компоненты приведены в п. 6 настоящего добавления.

*Примечание.* В зависимости от точной геометрии системы отбора проб нлТЧ система отбора проб и измерения нлТЧ может содержать большее число отдельных компонентов, чем указано в таблице А8-1.

### 5.2 Доля проникновения частиц через систему по числу нлТЧ

**Рекомендация.** Общая доля проникновения по числу нлТЧ для 80 дискретных размеров частиц ( $D_m$ ) от 0,003 до 1 мкм должна быть рассчитана путем объединения долей проникновения через компоненты системы:

$$\eta_{num}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_3 \times \eta_{b3} \times \eta_{cyc} \times \eta_4 \times \eta_{b4} \times \eta_6 \times \eta_{b6} \times \eta_{VPR} \times \eta_{CPC} \times \eta_{th\_n},$$

где  $\eta$  с нижними индексами означает доли проникновения через индивидуальные компоненты системы отбора проб и измерения нлТЧ, определенные в таблице А8-1. Процедуры оценки долей проникновения через отдельные компоненты приведены в разделе 6 настоящего добавления..

*Примечание.* В зависимости от точной геометрии системы отбора проб нлТЧ система отбора проб и измерения нлТЧ может содержать большее число отдельных компонентов, чем указано в таблице А8-1.

## 6. ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ОТДЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ ОТБОРА ПРОБ И ИЗМЕРЕНИЯ нлТЧ

### 6.1 Требуемые данные

Для расчета эффективности прохождения частиц в определенном диапазоне размеров требуются данные о характеристиках потока, линии транспортировки и об окружающих условиях. Эти параметры, определенные по каждой секции линии, перечислены в таблице А8-2.

Таблица А8-2. Входные параметры

Условные обозначения параметра	Описание	Единицы
$T_i$	Температура транспортирующего газа на входе $i^{го}$ отрезка линии отбора проб, за исключением коллекторного блока. Принимается равной температуре стенки каждой секции линии транспортировки и постоянной на всем протяжении $i^{го}$ отрезка линии отбора проб	°С
$P_i$	Давление транспортирующего газа в $i^{ом}$ отрезке линии отбора проб, принимаемое постоянным на всем протяжении $i^{й}$ секции и равное 101,325 кПа	кПа
$Q_i$	Расход транспортирующего газа через $i^{й}$ отрезок линии отбора проб	ст. л/мин
$ID_{ti}$	Внутренний диаметр $i^{го}$ отрезка линии отбора проб	мм
$L_i$	Длина $i^{го}$ отрезка линии отбора проб	м
$\theta_{bi}$	Общий угол изгиба в $i^{ом}$ отрезке линии отбора проб	градусы
$\eta_{VPR}(15), \eta_{VPR}(30), \eta_{VPR}(50), \eta_{VPR}(100)$	Доли проникновения частиц через VPR при четырех диаметрах частиц	безразмерная величина
$\eta_{CPC}(10), \eta_{CPC}(15)$	Эффективность подсчета CPC при двух диаметрах частиц	безразмерная величина

## 6.2 Доли диффузионного проникновения частиц

6.2.1 Диффузия частиц на поверхность стенок трубок системы отбора проб приводит к потере частиц, входящих в отрезок линии отбора проб или в компонент. Доли проникновения частиц,  $\eta_i(D_m)$ , при диффузионных потерях в секциях до входов приборов,

$\eta_i(D_m)$ ,  $i=1, 2, 3, 4, 5$ , и 6

рассчитываются с помощью следующего выражения:

$$\eta_i(D_m) = e^{\frac{-0.6 \times \pi \times ID_{ti} \times L_i \times V_{diff}}{Q_i}},$$

где:

$L_i$  – длина  $i^{го}$  отрезка линии отбора проб, м;

$V_{diff}$  –  $1,18 \times Re^{0.875} \times Sc^{0.333} \times \frac{D}{ID_{ti}}$ , скорость осаждения, см/с;

$Sc$  –  $\frac{\mu}{\rho_{gas} D} \times 10^3$ , число Шмидта транспортирующего газа;

$m_{gas}$  – 29,0 кг/моль, молекулярная масса транспортирующего газа;

$P_i$  – давление транспортирующего газа, кПа (принимается за 101,325 кПа).

**6.2.2 Рекомендация.** Доли проникновения при 80 дискретных размерах частиц ( $D_m$ ) от 0,003 до 1 мкм должны рассчитываться с учетом диффузионных потерь для каждой соответствующей секции линии.

### 6.3 Термофорез

**Рекомендация.** Постоянную величину термофоретического проникновения на входе приборов,  $\eta_{th\_m}(D_m) = 1$ , следует использовать для нЛГЧтi, а  $\eta_{th\_n}(D_m) = 1$  следует использовать для нЛГЧпi при всех размерах частиц.

### 6.4 Потери частиц в изгибах

**6.4.1 Рекомендация.** Доля проникновения из-за потерь в изгибах  $\eta_{bi}(D_m)$ ,  $i=1, 2, 3, 4, 5$ , и 6 различается по турбулентному потоку,  $Re$  больше чем 5000, и по ламинарному потоку,  $Re$  меньше чем или равно 5000, где  $Re$  является числом Рейнольдса. По ламинарному потоку, когда  $Re$  меньше чем или равно 5000, проникновение из-за изгибов в транспортирующих линиях следует рассчитывать, как

$$\eta_{bi} = 1 - 0,01745 \times Stk \times \theta_{bi}.$$

По турбулентному потоку, когда  $Re$  больше чем 5000, проникновение из-за изгибов в транспортирующих линиях следует рассчитывать, как

$$\eta_{bi} = e^{-0,04927 \times Stk \times \theta_{bi}},$$

где:

$Stk$   $\frac{Q_i \times C_c \times \rho \times D_m^2 \times 10^{-3}}{27 \times \pi \times \mu \times ID_{ti}^3}$ , безразмерное число Стокса;

$\theta_{bi}$  Общий угол изгибов в  $i^{om}$  отрезке линии отбора проб, градусы.

**6.4.2 Рекомендация.** Доли проникновения при 80 дискретных размерах частиц ( $D_m$ ) от 0,003 до 1 мкм следует рассчитывать с учетом потерь в изгибах по необходимости для каждой секции системы отбора проб и измерения.

### 6.5 Функция проникновения частиц через циклонный сепаратор

**6.5.1 Рекомендация.** Функцию проникновения частиц через циклонный сепаратор следует оценивать с помощью следующего выражения:

$$\eta_{cyc}(D_m) = 1 - \int_{x>0}^{D_m} \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu_{cyc})^2}{2\sigma_{cyc}^2}}}{x \sigma_{cyc} \sqrt{2\pi}} dx,$$

где:

$\mu_{cyc}$   $\ln(D_{50})$  и

$\sigma_{cyc}$   $\ln(D_{16}/D_{84})^{0,5}$ .

**6.5.2 Рекомендация.** Доли проникновения при 80 дискретных размерах частиц ( $D_m$ ) от 0,003 до 1 мкм следует рассчитывать по функции проникновения частиц через циклонный сепаратор. Циклонный сепаратор в системе отбора проб и анализа нЛТЧ имеет следующие характеристики:

- a) Граница раздела фракций:  $D_{50} = 1,0 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$
- b) Точность раздела:  $(D_{16}/D_{84})^{0,5}$  меньше чем или равная 1,25.

**Примечание 1.** Современные компьютерные приложения для обработки электронных таблиц содержат программу совокупного логарифмически нормального распределения, встроенную в библиотеку функций, которую можно использовать для генерирования функций проникновения частиц через циклонный сепаратор.

**Примечание 2.** Применительно к большинству газотурбинных двигателей  $D_m$  будет меньше чем 0,3 мкм. В таких случаях функция проникновения частиц через циклонный сепаратор будет фактически равна 1,0.

## 6.6 Функция проникновения частиц через VPR

**Примечание.** Вместо функции, определяемой по указанному ниже методу расчета, можно использовать гладкую функцию, предоставляемую тарировочной лабораторией, которая имеет результаты степени аппроксимации ( $R^2$  больше чем 0,95) для четырех тарировочных точек проникновения частиц через VPR (таблица А8-3). Потери частиц в VPR возникают из-за диффузии и термофореза. Термофоретический коэффициент,  $\eta_{VPRth}$ , является постоянной величиной. Коэффициент диффузии,  $\eta_{VPRdb}$ , определяется по стандартным потерям частиц из-за диффузии в ламинарном потоке.

**6.6.1 Рекомендация.** Общую функцию проникновения через VPR следует оценивать с помощью следующего выражения:

$$\eta_{VPR} = \eta_{VPRth} \times \begin{cases} 1 - 5,5 \times \psi^{\frac{2}{3}} + 3,77 \times \psi & \psi < 0,007 \\ 0,819 \times e^{-11,5\psi} + 0,0975 \times e^{-70,1\psi} + 0,0325 \times e^{-179\psi} & \psi > 0,007, \end{cases}$$

где:

$\psi$   $\frac{6 \times D \times L_{VPR}}{Q_{VPR}}$ , параметр осаждения;

$L_{VPR}$  рабочая длина VPR, м;

$Q_{VPR}$  поток транспортирующего газа в VPR, см. л/мин;

$T_{VPR}$  температура VPR, °C;

$\eta_{VPRth}$  термофоретическая потеря VPR.

**6.6.2 Рекомендация.** Функцию проникновения частиц через VPR ( $\eta_{VPR}$ ) следует аппроксимировать относительно четырех измеренных точек проникновения путем изменения рабочей длины ( $L_{VPR}$ ) и коэффициента термофоретической потери ( $\eta_{VPRth}$ ) VPR. Значение  $R^2$  должно быть больше чем 0,95 для обеспечения степени аппроксимации с измеренными величинами проникновения.

**6.6.3 Рекомендация.** Доли проникновения при 80 дискретных размерах частиц ( $D_m$ ) от 0,003 до 1 мкм следует рассчитывать по непрерывной функции VPR.

**Таблица А8-3. Минимальные допустимые доли проникновения частиц через VPR  
при четырех диаметрах частиц**

Диаметр электрической подвижности частицы, $D_m$	0,015 мкм	0,03 мкм	0,05 мкм	0,1 мкм
Минимальная доля проникновения, $\eta_{VPR}(D_m)$	0,30	0,55	0,65	0,70

### 6.7 Доля проникновения через разбавитель 1

**6.7.1 Рекомендация.** Для всех размеров частиц следует использовать постоянную долю проникновения через разбавитель 1,  $\eta_{dil}(D_m) = 1$ .

**6.7.2 Рекомендация.** Для функции проникновения через разбавитель следует использовать доли проникновения при 80 дискретных размерах частиц ( $D_m$ ) от 0,003 до 1 мкм.

### 6.8 Эффективность подсчета СРС

**6.8.1 Рекомендация.** Непрерывная функция эффективности подсчета СРС должна быть определена с использованием двух значений эффективности подсчета СРС, установленных с помощью двухпараметрической сигмоидальной функции по следующей формуле:

$$\eta_{CPC} = 1 - e^{-\ln(2) \cdot \left[ \frac{D_m - D_0}{D_{50} - D_0} \right]},$$

где:

$$D_0 = \frac{\alpha_{10} D_{15} - \alpha_{15} D_{10}}{\alpha_{10} - \alpha_{15}};$$

$$D_{50} = \frac{(\alpha_{15} + 1) D_{10} + (\alpha_{10} + 1) D_{15}}{\alpha_{15} - \alpha_{10}};$$

$$\alpha_i = \frac{\ln(1 - \eta_{CPC,i})}{\ln(2)}, i = 0,01 \text{ мкм или } 0,015 \text{ мкм};$$

$$D_{10} = 0,01 \text{ мкм};$$

$$D_{15} = 0,015 \text{ мкм};$$

$\eta_{CPC,10}$  – эффективность подсчета при 0,01 мкм;

$\eta_{CPC,15}$  – эффективность подсчета при 0,015 мкм.

**6.8.2 Рекомендация.** Доли проникновения при 80 дискретных размерах частиц ( $D_m$ ) от 0,003 до 1 мкм следует рассчитывать по непрерывной функции СРС.

---

– КОНЕЦ –





ISBN 978-92-9258-318-7



9

789292

583187